

**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**

**CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y CRECIMIENTO  
ECONOMICO EN MEXICO:  
ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO Y PROSPECTIVA**

Tesis presentada por

**Nayib René Zamarripa Villa**

Para obtener el grado de

**MAESTRO EN ECONOMIA APLICADA**

Tijuana, B. C., México  
2016

# CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Directora de Tesis: \_\_\_\_\_

Dra. Belem Vásquez Galán

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

*A mi madre,  
por enseñarme a creer,  
por tu amor incondicional,  
por inspirarme.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me permitió centrarme y concluir mis estudios de maestría; y a El Colegio de la Frontera Norte (El Colef) por la formación profesional, la preparación académica y las oportunidades extraescolares brindadas en esta etapa.

Agradezco a la Dra. Belem Vásquez por el apoyo incondicional ofrecido en cada uno de los semestres de la maestría, principalmente por sus contribuciones en el trabajo de tesis. Siempre mantuvo un contacto frecuente y un interés genuino por los proyectos que emprendí en estos dos años. Sus aportaciones y su guía fueron esenciales para que la tesis cumpliera con el rigor académico esperado.

Del mismo modo, agradezco al Dr. José Luis Manzanares por haber participado como lector interno de la tesis y dedicar parte de su tiempo para mejorar este trabajo; y al Dr. Víctor Rodríguez, por intervenir como lector externo y por sus observaciones que fueron sustanciales para mejorar la tesis.

Extiendo mis agradecimientos a la coordinación de la Maestría en Economía Aplicada por su ayuda en todo este proceso. Al Dr. Oscar Peláez, por ayudarme a perseguir objetivos personales y permitirme aprovechar todas las herramientas que la maestría ofrece. Al Dr. Noé Fuentes, por su contribución en mi desarrollo profesional, su motivación a emprender nuevos retos y, principalmente, por su amistad.

Finalmente, ofrezco mi más sincera gratitud a mi familia, que me dotaron de amor y apoyo para continuar mis estudios; y a Lu, por tu ayuda en la tesis y por la alegría que transmites. En particular, agradezco a mi madre por todo el afecto y entusiasmo que siempre me ha aportado para seguir adelante.

## **RESUMEN**

La implementación de la reciente reforma del sector energético ha despertado el interés por conocer si existe una relación entre los recursos energéticos y el crecimiento económico de México. Este trabajo tiene por objetivo comprender la relación que hay entre el sector eléctrico y la producción nacional y evaluar los posibles efectos que la Reforma Energética de 2013 tendrá en el producto interno bruto (PIB). Se adopta una metodología de econometría de series de tiempo con modelos de vectores autorregresivos. Con datos de 1993 a 2014, los resultados muestran que no hay cointegración entre el consumo de electricidad y el PIB, pero que sí la hay entre el precio de la electricidad, el precio de los productos petroquímicos y el PIB. Por otra parte, el consumo de electricidad Granger-causea al PIB en el corto plazo. A nivel sectorial, el sector secundario y el terciario mantienen una relación de largo plazo entre su nivel de producción y precio de la electricidad. Finalmente, los resultados sugieren que la disminución en el precio de la electricidad pronosticada por la Reforma Energética tendría un efecto positivo en la producción en el corto plazo, y uno negativo en el largo plazo.

**Palabras clave:** Crecimiento económico, consumo de electricidad, precio de la electricidad.

## **ABSTRACT**

The introduction of the recent energy reform in Mexico has raised interest in the relationship between energy resources and the economic growth. The purpose of this study is to understand how the electricity sector is related to the national production and to assess the possible effects the Energy Reform of 2013 will have on the gross domestic product (GDP). The methodology consists in time series econometrics using vector autoregressive models. Using data from 1993 to 2014, this study finds no cointegration between electricity consumption and GDP, but finds that the price of electricity, the price of petrochemicals, and the GDP are cointegrated. Furthermore, electricity consumption Granger causes the GDP in the short run. At sectoral level, the secondary and tertiary sectors share a long term relationship between their output level and the electricity price they face. Finally, the results suggest that the reduction in the price of electricity forecasted by the Energy Reform will have a positive effect in the output level in the short run, and a negative one in the long run

**Key words:** Economic growth, electricity consumption, price of electricity.

# INDICE GENERAL

INTRODUCCION .....	7
<b>CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Identificación del Problema .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Preguntas de Investigación.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Justificación .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Objetivos de la Investigación .....</b>	<b>10</b>
Objetivo General .....	10
Objetivos Particulares .....	11
<b>1.5 Hipótesis.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>12</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Evolución de la función de producción .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Teorías del crecimiento económico.....	14
2.1.2 Modelo ricardiano: Crecimiento económico con rendimientos a escala decrecientes .....	19
2.1.3 La Síntesis Neoclásica: El Modelo de Hicks .....	21
<b>2.2 Modelos de crecimiento exógeno .....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Modelo de Harrod-Domar.....	23
2.2.2 Modelo de crecimiento económico de Solow.....	25
<b>2.3 Teoría del crecimiento endógeno .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Estudio de literatura de la economía de la energía (<i>energy economics</i>) .....</b>	<b>30</b>
<b>CAPITULO III. DESEMPEÑO DEL SECTOR ENERGETICO Y LA ELECTRICIDAD EN MEXICO.....</b>	<b>41</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Regulación del sector energético en México .....</b>	<b>42</b>
3.1.1 Regulación de hidrocarburos.....	42
3.1.2 Regulación de la energía eléctrica .....	43
3.1.3 Reforma energética de 2013 .....	44
<b>3.2 Estructura y desempeño del sector energético .....</b>	<b>46</b>
3.2.1 Tipos de energía .....	46
3.2.2 Producción de energía .....	46
3.2.3 Consumo de energía.....	49
3.2.4 Exportaciones e importaciones de energía.....	51

<b>3.3 Electricidad</b> .....	55
<b>3.3.1 Generación de electricidad</b> .....	55
<b>3.3.2 Consumo de energía eléctrica</b> .....	57
<b>3.3.3 Exportaciones e importaciones de electricidad</b> .....	58
<b>3.3.4 Precios e inflación de la electricidad</b> .....	59
<b>3.4 Crecimiento económico y consumo de electricidad en México</b> .....	60
<b>3.4.1 PIB, crecimiento y composición por sectores</b> .....	60
<b>3.4.2 Sector industrial y consumo de electricidad</b> .....	63
<b>3.4.3 Dependencia del PIB a otros factores</b> .....	65
<b>CAPITULO IV. MARCO METODOLOGICO</b> .....	69
<b>Introducción</b> .....	69
<b>4.1. Modelos de Vectores Autorregresivos (VAR)</b> .....	70
<b>4.2 Estacionariedad</b> .....	73
<b>4.3 Raíz unitaria</b> .....	74
<b>4.4 Regresión espuria</b> .....	75
<b>4.5 Cointegración</b> .....	75
<b>4.6 Modelos de Corrección de Error (ECM)</b> .....	77
<b>4.7 Vectores de Corrección de Error</b> .....	78
<b>4.8 Causalidad</b> .....	79
<b>4.9 Funciones de impulso respuesta (IRF)</b> .....	81
<b>4.10 Descomposición de la varianza</b> .....	82
<b>CAPITULO V. RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES</b> .....	84
<b>Introducción</b> .....	84
<b>5.1 Modelo 1: Relación entre crecimiento económico y consumo de electricidad en México</b> .....	85
<b>5.2 Modelo 2: Relación entre crecimiento económico y precios de la energía</b> .....	86
<b>5.3 Modelo 3: Estimaciones por sectores económicos</b> .....	87
<b>5.4 Definición de variables y pruebas de raíz unitaria</b> .....	88
<b>5.5 Estimaciones modelo 1</b> .....	94
<b>5.5.1 Modelo 1: Estimación a partir de un VAR en diferencias</b> .....	95
<b>5.5.2 Prueba de Causalidad</b> .....	97
<b>5.5.3 Funciones de Impulso Respuesta</b> .....	98
<b>5.5.4 Descomposición de la Varianza</b> .....	99
<b>5.6 Estimaciones modelo 2</b> .....	100

5.6.1 Modelo 2: Estimación a partir de un VEC .....	101
5.6.2 Prueba de Causalidad.....	104
5.6.3 Funciones de Impulso Respuesta .....	104
5.6.4 Descomposición de la Varianza .....	106
5.7 Estimaciones modelo 3.....	107
5.7.1 Sector Primario: Estimación a partir de un VAR en diferencias.....	107
5.7.2 Sector Secundario y Terciario: Estimación a partir de un VEC.....	108
5.7.3 Pruebas de Causalidad .....	110
5.7.4 Funciones de Impulso Respuesta .....	111
5.7.5 Descomposición de la Varianza .....	113
5.8 Pronósticos de la Reforma Energética .....	116
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>i</b>
A1. Resultados de estimación del modelo 1: VAR (7) en diferencias.....	i
A2. Resultados de estimación del modelo 2: VEC (9).....	iii
A3. Resultados de estimación por sectores.....	vi
A4. Gráfico de variables en primera diferencia.....	ix
A5. Criterios de información.....	x
A6. Prueba de cointegración de Johansen – Estimación por sectores.....	xiii
A7. Pruebas de estabilidad.....	xv

## Índice de cuadros

2.1 Causalidad entre consumo de energía y crecimiento económicos.....	38
5.1 Descripción de variables (periodo 1993-2014).....	89
5.2 Pruebas de raíz unitaria ADF y PP.....	93
5.3 Prueba de cointegración de Johansen Consumo de Electricidad y PIB.....	94
5.4 Resumen de estimaciones Modelo 1 – VAR (9) en diferencias.....	96
5.5 Causalidad de Granger VAR/ Prueba de Wald Consumo de Electricidad y PIB.....	98
5.6 Descomposición de la Varianza – Modelo 1.....	99
5.7 Prueba de Cointegración de Johansen Precio de la electricidad, Precio de petroquímicos y PIB.....	100
5.8 Resumen de estimaciones Modelo 2 – VEC (7).....	102
5.9 Causalidad de Granger VEC/ Prueba de Wald Precio de la electricidad, Precio productos petroquímicos y PIB.....	104
5.10 Descomposición de la Varianza – Modelo 2.....	106
5.11 Resumen de estimaciones por sectores económicos.....	109
5.12 Causalidad de Granger VEC/ Prueba de Wald Precio de la electricidad por sector y PIB por sector.....	110
5.13 Descomposición de la Varianza – Sector primario.....	114
5.14 Descomposición de la Varianza – Sector secundario.....	115
5.15 Descomposición de la Varianza – Sector terciario.....	115

## Índice de gráficas

2.1 Modelo de Hicks: Oferta Agregada.....	22
2.2 Modelo de Solow: Curva de producto total y estado estacionario.....	26
3.1 Producción anual de energía.....	47
3.2 Distribución de la producción de energía primaria.....	47
3.3 Distribución de la producción de energía secundaria.....	48
3.4 Consumo final de energía por sectores.....	49
3.5 Distribución del consumo final de energía en el sector Transporte.....	50
3.6 Distribución del consumo final de energía en el sector Industrial.....	50
3.7 Exportaciones e importaciones de energía.....	51
3.8 Exportaciones de energías primarias y secundarias.....	52
3.9 Importaciones de energías primarias y secundarias.....	53
3.10 Precio promedio anual de productos petroquímicos.....	54
3.11 Precio promedio anual de hidrocarburos.....	54
3.12 Precio promedio anual de la electricidad.....	55
3.13 Generación de electricidad por tipo de planta.....	56
3.14 Consumo de energía eléctrica por destino final.....	57
3.15 Consumo de energía eléctrica por sector.....	58
3.16 Exportaciones e Importaciones de electricidad.....	59
3.17 Inflación e Índice Nacional de Precios al Consumidor (base 2008).....	59
3.18 Producto Interno Bruto anual por actividad económica (precios 2008).....	61
3.19 Variación anual del producto por actividad económica (precios 2008).....	62
3.20 Composición del PIB por actividad económica.....	62
3.21 Distribución del Sector Industrial por tipo de actividad.....	64
3.22 Consumo de electricidad industrial y crecimiento económico.....	64
3.23 Relación PIB – Formación de capital.....	65
3.24 Relación PIB – Población ocupada.....	66
3.25 Relación PIB – Tasa de rendimiento en CETES (28 días).....	67
3.26 Relación PIB – Índice de producción industrial de Estados Unidos.....	67
3.27 Relación PIB – Producción de Estados Unidos.....	68
5.1 Variables en logaritmos naturales.....	92

5.2 Funciones de Impulso Respuesta – Modelo 1.....	98
5.3 Funciones Impulso Respuesta – Modelo 2.....	105
5.4 Funciones Impulso Respuesta – Sector primario.....	111
5.5 Funciones Impulso Respuesta – Sector secundario.....	112
5.6 Funciones Impulso Respuesta – Sector terciario.....	113
5.7 Efectos de la Reforma Energética en el PIB total ante una disminución del precio de la electricidad.....	117
5.8 Efectos de la Reforma Energética en el PIB secundario ante una disminución del precio de la electricidad industrial.....	118
5.9 Efectos de la Reforma Energética en el PIB terciario ante una disminución del precio de la electricidad en los servicios .....	119

## INTRODUCCION

El papel que tiene el consumo de energía en el crecimiento económico es un tema que ha sido estudiado por los economistas en los últimos treinta años. Aunque el resultado de las investigaciones difiere entre países, se ha reconocido el potencial que tienen las políticas económicas que afectan la dinámica del sector energético para cambiar el nivel de producción en el largo plazo. En 2013, dentro del conjunto de reformas presentadas por el gobierno mexicano, se implementó la Reforma Energética como una oportunidad para reducir el precio de los energéticos y promover el crecimiento económico del país.

En México, el consumo final de energía depende principalmente de energías secundarias y varía de acuerdo al tipo de actividad económica que se realice. Entre estas energías, la electricidad se destaca por ser uno de los energéticos que se consume en mayor proporción en el sector agrícola, en el industrial y en el residencial. De este modo, este trabajo plantea las siguientes preguntas: ¿Hay una relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico de México? ¿Cuáles sectores económicos son más sensibles y en qué grado al cambio en los precios de la electricidad? ¿Qué posibles efectos tendrá la reforma energética en la producción nacional?

La literatura de la economía de la energía sugiere que el consumo energético comparte una relación de causalidad con el nivel de producción en países con un nivel de desarrollo similar al de México. En este trabajo se utiliza econometría de series de tiempo para determinar si hay una relación causal entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico de México en el periodo 1993-2014. Se eligió este periodo principalmente por la disponibilidad de los datos. Los resultados indican que el consumo de electricidad causa en el sentido de Granger al producto interno bruto en el corto plazo. Sin embargo, se concluye que esta relación no se extiende en el largo plazo puesto que no se encontró cointegración entre las variables, lo que indicaría que el crecimiento económico no está asociado a un mayor consumo de electricidad. Por otra parte, sí se encontró cointegración entre los precios de la electricidad y el producto interno bruto.

Con este trabajo, se reconoce que las políticas económicas que modifiquen el consumo y/o precio de la electricidad, pueden impulsar el crecimiento de México. No obstante, el efecto del consumo de otros energéticos no fue considerado a lo largo de esta investigación, por lo que no se pueden hacer inferencias al respecto. Futuras investigaciones podrían enfocarse en efectos cualitativos que tendrá la reforma energética.

La tesis está organizada en seis capítulos. En el primer capítulo, se plantea el problema de investigación y los objetivos de la tesis. En el segundo capítulo, se presenta la evolución que ha tenido la función de producción en las teorías de crecimiento económico hasta incluir a la energía como una variable explicativa. El tercer capítulo describe el marco regulatorio de la reforma energética y el desempeño que ha tenido el sector energético a partir de 1993. En el cuarto capítulo, se exponen las herramientas econométricas utilizadas para cumplir con los objetivos de la tesis. En el quinto capítulo, se presentan los modelos estimados y un pronóstico de posibles efectos de la reforma energética. Por último, el capítulo seis contiene las conclusiones generales donde se hace una reflexión sobre las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos.

# CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Identificación del Problema

El crecimiento económico es un tema que ha sido estudiado exhaustivamente por economistas alrededor del mundo. Los trabajos que analizan su origen generalmente identifican variables que, sin importar la ubicación geográfica o el nivel de desarrollo, coinciden entre los países. No obstante, aún no hay un consenso en la relación que existe entre energía y crecimiento económico. En este sentido, se pueden identificar dos posturas opuestas: la primera, que existe alguna relación entre el consumo (y/o intensidad) de la energía y el nivel de producción; y la segunda, que el cambio en el consumo energético no tiene un efecto en el crecimiento y su comportamiento es independiente en el tiempo.

De este modo, el estudio del uso de energía como una variable económica cada vez ha tenido más importancia en la literatura económica, especialmente en relación al potencial económico de los países. Algunos estudios han probado empíricamente esta relación en economías como Bangladesh (Alam, et al., 2012), Brasil (Cheng, 1997), Canadá (Ghali, 2004), China (Zhang & Cheng, 2009), Estados Unidos (Abosedra & Baghestani, 1989), Francia (Ang, 2007), Grecia (Tsani, 2010), Irán (Zamani, 2007), México (Caballero & Galindo, 2007) Rusia (Zhang, 2011), Taiwán (Cheng, 1997), Turquía (Jobert & Karanfil, 2007), y Venezuela (Cheng, 1997), entre otros. Sin importar el resultado, una propiedad en común que se comparte al medir la relación entre estas variables es que la metodología más apropiada para su estimación es utilizar econometría de series de tiempo. Este enfoque permite que los datos determinen la relación entre las variables sin asumir posturas a priori y ofrece herramientas capaces de predecir los cambios en una variable cuando ocurre un shock en la otra.

La ventaja de identificar la presencia y dirección de una relación de causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico es que se pueden diseñar políticas que modifiquen la estructura del sector energético para lograr objetivos de crecimiento. Sin embargo, un inconveniente es que los resultados difieren entre cada país y no es posible asumir un comportamiento uniforme de respuesta ante el cambio de una variable sobre la otra.

## **1.2 Preguntas de Investigación**

**General:** ¿Cuál es la relación que existe entre el sector eléctrico y el crecimiento económico de México?

Particulares:

1. ¿El mayor consumo de electricidad ocasiona un mayor crecimiento económico o viceversa? ¿Cuál es la relación entre los precios de los energéticos y el crecimiento económico?
2. ¿Existe una relación de largo plazo entre el consumo de energía eléctrica y el producto interno bruto?
3. ¿Cuál sector (agropecuario, industrial o terciario) es más sensible al cambio en los precios de la energía eléctrica?
4. ¿Cuáles son los posibles efectos que la reforma energética del 2013 podría tener en el producto interno bruto?

## **1.3 Justificación**

Esta tesis pretende aportar un nuevo enfoque a las teorías del crecimiento al contribuir con una aplicación para el caso mexicano. Los resultados que se deriven de este trabajo pueden beneficiar tanto al sector privado como a los gobernantes, ya que ofrece una mejor comprensión del papel que juega el sector energético en los objetivos de crecimiento.

Para el desarrollo de esta investigación se considera el método y los resultados que otros autores han obtenido al estudiar el consumo de energía en otros países. En otras palabras, la viabilidad del estudio se basa en dos elementos, uno de carácter teórico y otro empírico. La parte teórica permitirá seguir un argumento lógico antes de conocer los resultados y consiste en la revisión de literatura concerniente a las teorías del crecimiento y a la economía de la energía. Por otro lado, la parte empírica considera los modelos que se han construido para probar la relación entre energía y crecimiento.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Determinar la relación que existe entre el consumo y los precios de la electricidad y el crecimiento económico de México, en el periodo 1993-2014, a través de un análisis de series de tiempo.

## Objetivos Particulares

1. Determinar si existe causalidad de corto plazo entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico de México a través de la estimación de un modelo de vectores autorregresivos.
2. Determinar si el consumo de energía eléctrica y el producto interno bruto se mueven juntos en el tiempo a través de un análisis de cointegración.
3. Identificar si existe una relación de corto y largo plazo entre los precios de la electricidad y de los petroquímicos con el PIB.
4. Identificar los sectores de actividad económica que son sensibles al cambio en el precio de la electricidad a partir de la estimación de un modelo de vectores de corrección de error.
5. Realizar un análisis de prospectiva al 2024 para conocer el efecto que la reforma energética tendrá sobre el producto interno bruto al modificar el precio de la energía.

## 1.5 Hipótesis

Siguiendo la estructura de las preguntas y los objetivos de investigación, se presenta una hipótesis general y cuatro particulares:

**El desempeño del sector eléctrico, medido a través del consumo y precios de la electricidad, ha tenido un efecto estadísticamente significativo sobre el crecimiento económico de México en el periodo 1993-2014.**

1. Hay una relación de largo plazo entre el consumo de energía eléctrica y el producto interno bruto de México.
2. Hay una relación de largo plazo entre el precio de la electricidad y de los petroquímicos con el producto interno bruto de México.
3. El sector industrial es el más sensible al cambio en el precio de la electricidad debido a que es el que más la utiliza como insumo. Un aumento en el precio de la electricidad industrial representa un aumento en sus costos y por ello un efecto negativo en su nivel de producción.
4. En un escenario donde la reforma energética logre reducir los precios de la electricidad, el efecto sobre el crecimiento del PIB será positivo en el corto plazo y negativo en el largo plazo.

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### Introducción

Este capítulo tiene por objetivo presentar cómo han evolucionado las teorías del crecimiento económico para incluir otros factores además del trabajo y del capital, y así entender por qué es importante la utilización de los insumos energéticos en la producción nacional.

La importancia de estudiar el crecimiento económico de los países nació de la curiosidad por entender el funcionamiento del sistema productivo y sus efectos en la sociedad. Generalmente, el Producto Interno Bruto<sup>1</sup> (PIB) ha sido utilizado para medir el grado de este crecimiento económico. Sin embargo, en la historia de las teorías de crecimiento económico se han utilizado distintos acercamientos.

El deseo de los economistas por entender las causas del crecimiento pronto se transformó en la curiosidad por pronosticar su valor. Después de lo que se conoció como el pensamiento neoclásico, se desarrolló un marco que permitió modelar el comportamiento de la producción nacional. A este tipo de modelos se les conoce como modelos de crecimiento exógeno. Uno de los modelos más reconocidos y usados es el de Solow. 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.

Debido a que la finalidad de los países no sólo era aumentar sus niveles de renta, los modelos de crecimiento exógeno comenzaron a centrarse también en variables cualitativas, como la distribución, la equidad y la justicia. Este tipo de análisis se relaciona con lo que se denomina desarrollo económico que, citando a Todaro & Smith (2012, p. 5), representa el “estudio de cómo las economías se transforman de un punto de estancamiento hacia uno de crecimiento [...], y superan sus problemas de absoluta pobreza”. Estos nuevos modelos, que surgieron como respuesta a los modelos exógenos, se centraron más en entender las causas del crecimiento

---

<sup>1</sup> Se toma la definición propuesta por Blanchard (2006, p. 25): “El PIB es el valor de los bienes y servicios finales producidos en la economía durante un periodo determinado”.

económico que en pronosticar su nivel. A estos modelos se les conoce como modelos de crecimiento endógeno.

La ventaja de utilizar estos modelos es que, si bien se basan en teoría económica, se adaptan a las condiciones y características específicas de los países, en lugar de relacionar al crecimiento económico únicamente con el capital y el trabajo. Los primeros trabajos de modelos de crecimiento endógeno fueron desarrollados por Gary Becker, Robert Lucas y Paul Romer, entre otros. Estos modelos sirvieron para demostrar que la función de producción estaba incompleta y que otras variables, como las instituciones y el capital humano, son indispensables para los países si éstos quieren expandir su senda de crecimiento en el largo plazo.

Otros trabajos de modelos de crecimiento endógeno se han centrado únicamente en estudiar la relación que existe entre la energía y el crecimiento económico. Siddiqui (2004) realizó un análisis de series de tiempo en Pakistán para probar que, no solo el consumo de energía se relaciona con el crecimiento del país, sino que un mayor crecimiento también provoca un aumento en el consumo de energía. Arshad, et al. (2007) también utilizaron econometría de series de tiempo con un modelo de rezagos distribuidos para probar que el consumo de energía tiene un efecto en el crecimiento del PIB en cuatro economías de Asia. La misma conclusión fue obtenida por Gardner & Joutz (1996) en Estados Unidos; por Cheng (1997) en Brasil, México y Venezuela; por Medlock & Soligo (2001) en 28 países con distintos niveles de desarrollo; y por Razzaqi, et al. (2011) en ocho países musulmanes conocidos como D8 (Bangladesh, Egipto, Indonesia, Irán, Malasia, Nigeria, Pakistán y Turquía); por mencionar algunos trabajos. Por otro lado, Cheng (1999), Mallick (2009) y Srinivasan & Siddanth (2015) probaron que la causalidad entre ambas variables es del crecimiento del producto al consumo de energía. Sin embargo, Kraft & Kraft (1978), Yu & Choi (1992), Altinay & Karagol (2004) encontraron que el consumo de electricidad y el crecimiento económico no guardan ninguna relación causal en los países que estudiaron.

La evidencia de los trabajos que han estudiado el efecto de incluir al consumo de energía en la función de producción sugiere que existen cuatro posibilidades: que el consumo de energía afecte el crecimiento económico, que la causalidad sea del crecimiento económico hacia el consumo de energía, que ambas variables se retroalimenten, o que no exista ninguna relación entre ellas.

## **2.1 Evolución de la función de producción**

### **2.1.1 Teorías del crecimiento económico**

En el curso de la historia, uno de los fenómenos que ha llamado el interés de los economistas ha sido el tratar de explicar el origen del crecimiento económico. Aunque hoy en día el crecimiento económico de un país es comúnmente medido por su nivel de producción anual, se han utilizado otros métodos y variables con el fin de poder estudiar el grado de evolución en las naciones, por ejemplo utilizando el trabajo anual de un determinado país. Al respecto, uno de los trabajos más relevantes es el de Smith (2006).

En su investigación, Smith identificó que el trabajo anual de un país tenía una relación directa con su nivel de riqueza, definiendo trabajo anual como un fondo que provee lo necesario para la nación y que se consume anualmente por la misma (Smith, 2006, p. 3). Este trabajo anual será producto de dos eventos diferentes, uno medido por la aptitud, destreza y sensatez de los trabajadores, y el otro que se relaciona con el número de ellos en una labor útil.

Siguiendo la lógica anterior, las naciones podrán expandir su senda de crecimiento primordialmente aumentando su nivel de trabajo anual. Esto puede suceder por dos vías, aumentando las horas-hombre de trabajo, o aumentando el trabajo anual sin aumentar las horas-hombre de trabajo. La primera opción, aunque posible, no era muy conveniente, a los trabajadores se les podía extender su jornada laboral hasta cierto punto, lo que eventualmente limitaría la capacidad de crecimiento de un país. La segunda opción, y una de las principales contribuciones de Smith, se refiere al hecho de aumentar la productividad del trabajo de tal modo que, con el mismo número de trabajadores y con las mismas horas-hombre trabajadas, se pueda producir una mayor cantidad. La manera en que esta opción era factible era pensando en dividir el trabajo, es decir, los trabajadores producirían más si dominaban una sola tarea y se especializaban en una actividad. En palabras de Smith “El progreso más importante en las facultades productivas del trabajo, y gran parte de la aptitud, destreza y sensatez con que éste se aplica o dirige, por doquier, parecen ser consecuencia de la división del trabajo” (2006, p. 7).

La idea de la división del trabajo fue rápidamente adoptada después de la publicación de Smith permitiendo que su evolución fuera ágil y dinámica en el periodo de la Revolución Industrial (Cypher & Dietz, 2002, p. 109). En su momento, esta especialización explicó la razón por la que

los países experimentaron grandes aumentos en su nivel de riqueza en ese periodo. Sin embargo, existen otras teorías de crecimiento económico que han ayudado a entender mejor el funcionamiento de las economías y la evolución de su producto. Aun así, se reconoce que la Riqueza de las Naciones de Smith no solo ayudó a construir por primera vez un marco teórico referente a la teorías del crecimiento y desarrollo económico, también argumentó las razones por las que el sistema capitalista era superior en su estructura de mercado, en comparación con los antiguos sistemas mercantiles y feudales (Cypher & Dietz, 2002, p. 106).

Por otra parte, Ricardo consideró que podía existir un aumento en la productividad del trabajo de la agricultura, permitiendo un crecimiento económico en los países. Este aumento en la productividad lo describió como una ventaja que sucedía como respuesta a la especialización. Si bien Smith hablaba de la especialización del trabajo individual, Ricardo se refería a la especialización de mercancías entre países. Si en un país los costos de producir productos eran distintos que en otro, ambos podían especializarse en la mercancía que les presentaba una ventaja y beneficiarse del comercio mutuo. A esta idea se le conoce como como la teoría de la ventaja comparativa de Ricardo.

Aunque el sistema ricardiano ofrece ventajas sobre otras teorías de crecimiento económico, es criticado hoy en día debido a sus supuestos no describen nuestra realidad económica. Primero, Ricardo asumía que los factores de producción (trabajo, capital, recursos naturales y tierra) eran inmóviles, situación que difícilmente continua siendo aceptada; segundo, que todos los países producen todos los bienes; y tercero, que todas las importaciones son balanceadas por un flujo de exportaciones de la misma magnitud. Tomando en consideración este problema, se duda si existe alguna economía que siga fielmente los supuestos de análisis ricardiano,

Aún con sus críticas, el análisis de Ricardo ha influido a economistas contemporáneos. En 1960, Piero Scraffa, en su libro *Producción de Mercancías por medio de Mercancías*, trató de mostrar que el problema de la teoría ricardiana puede ser resuelto y las implicaciones que esto conlleva en la teoría económica moderna (Blaug, 1996, p. 164). Por otra parte, en los modelos de crecimiento económico, la teoría de Ricardo también ha ayudado en trabajos concernientes al uso de la ventaja comparativa, como en el modelo de Heckscher-Ohlin, que sigue la lógica del modelo de Ricardo pero permite diferencias en la productividad laboral debido al uso de diferentes tecnologías entre los países.

Otra de las teorías de crecimiento que introdujo cambios en la función de producción fue la de Carlos Marx. A diferencia de sus predecesores, Marx creía que el capitalismo era solo uno de los posibles sistemas económicos que una sociedad podía adoptar. Así, el capitalismo era visto como la evolución que provino del sistema mercantil y feudal.

El desarrollo capitalista de Marx representó tanto una crítica como una aportación a las teorías del crecimiento que se habían desarrollado en el pensamiento económico. Esta teoría consideró el problema de la distinción de clases en la estructura del proceso productivo como resultado del capitalismo. El problema de la distinción de clases representa la inequidad que resulta del proceso de producción entre los trabajadores y los dueños del capital.

Los argumentos de Marx reconocían al capitalismo como un sistema económico que había tenido éxito en el sentido de que había creado más riqueza que otros sistemas productivos en el transcurso de la historia (Cypher & Dietz, 2002, p. 123). Sin embargo, su preocupación no se refería únicamente al crecimiento económico de las naciones, sino a su desarrollo. La opulencia que la clase trabajadora creaba no era distribuida equitativamente entre los participantes del proceso productivo. Aunado a esto, concluyó que el sistema capitalista era insostenible por el hecho de que, en el largo plazo, la tasa de ganancia disminuiría progresivamente resultado del progreso tecnológico.

Una de las características más influyentes de los modelos marxistas es que reconocen el efecto del cambio tecnológico en el crecimiento económico. Si bien Marx no hizo énfasis en una variable de progreso tecnológico, sí incluyó un elemento que considerara un nivel de cambio en la tecnología.

En la teoría marxista, se le conoce como fuerzas de producción a la organización tecnológica del proceso de producción y que admite modificaciones al capital empleado. Por otro lado, el cambio en la tecnología no era el único factor que podía alterar la producción agregada, la manera en que los trabajadores interactuaban en este proceso también era un factor importante en el producto. Esta interacción que surgía entre distintas clases sociales, recibía el nombre de relaciones de producción. La diferencia de clases sociales era definida por el lugar de la producción en la que se encontraban los individuos: capitalista quien facilitaba el capital y los recursos a emplear, obrero quien ofrecía su trabajo por una remuneración a cambio.

De esta manera, la función de producción marxista considera los elementos de los modelos clásicos pero con un particular énfasis en una variable conocida como estructura social. Del mismo modo, contiene los otros cuatro insumos de producción: Tierra, Trabajo, Capital y un progreso técnico.

Posterior a Marx, en respuesta a las críticas realizadas a los modelos clásicos y como un interés de conocer las causas del crecimiento económico en la sociedad capitalista, surgieron los modelos de crecimiento neoclásicos. El análisis neoclásico se caracterizó por tener un enfoque microeconómico, sobre todo en la racionalidad de los individuos y en la maximización de su utilidad.

El pensamiento económico entonces se orientó a un mismo tema estudiado, la teoría cuantitativa, desde cuatro perspectivas distintas: el enfoque de Fisher, el de Marshall, Walras y Wicksell, y el de Robinson y Keynes, el cual concluyó con la presentación de la obra de Pigou en su *Fluctuaciones Industriales*. Con estos trabajos, posteriormente se publicaría la Teoría General de Keynes, dando inicio al análisis macroeconómico y a los modelos de crecimiento exógenos.

Así como la teoría neoclásica surgió como respuesta al fallo de la teoría clásica por explicar los fenómenos económicos imperantes del momento, la corriente keynesiana también representó un episodio en la historia económica donde una teoría fue aceptada con rapidez (Blaug, 1996, p. 642). Una de las razones por las que el pensamiento keynesiano se popularizó fue por la explicación que ofrecía del desempleo masivo que se vivía en el momento.

En su *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*, Keynes criticó los supuestos de la teoría neoclásica señalando que eran más un escenario atípico que una verdad absoluta: “Sostendré que los postulados de la teoría clásica<sup>2</sup> sólo son aplicables en un caso especial, y no en general, porque las condiciones que supone son un caso extremo de todas las posiciones posibles de equilibrio. (Keynes, 2003, p. 37). En consecuencia, su análisis introdujo nuevas preocupaciones en la determinación del aumento de la producción, por ejemplo en el empleo.

De acuerdo a Keynes (2003, pp. 58-60), la teoría general puede resumirse en ocho puntos.

I) El volumen de ocupación determina al ingreso (real y nominal).

---

<sup>2</sup> Keynes admite que es costumbre suya referirse a la teoría clásica y a la teoría neoclásica con el mismo nombre. (Keynes, 2003, p. 37)

- II) Existe un factor psicológico en la sociedad que separa el ingreso disponible de los individuos en aquello que ellos consumen, y aquello que ellos ahorran. La proporción que se destina al consumo le llamó propensión marginal a consumir. Dado que el consumo depende del ingreso total y, al mismo tiempo, el ingreso es una función de la ocupación, el consumo entonces se determina por el nivel de ocupación.
- III) El volumen de ocupación que se empleará depende del ingreso que se espera que la sociedad consumirá, y del ingreso que se espera que dedicará en inversiones. La demanda efectiva, que corresponde a la suma del ingreso que la sociedad consumirá y la del ingreso que invertirá, es igual a la oferta agregada, que es una función del nivel de ocupación.
- IV) La demanda efectiva es igual al ingreso que se espera que la sociedad consumirá más el ingreso que se espera que dedicará en inversiones, e igual a la oferta agregada.
- V) En consolidación con los puntos anteriores, en el equilibrio, el volumen de ocupación dependerá de la función de oferta agregada, de la propensión a consumir y del volumen de inversión<sup>3</sup>.
- VI) El salario real está determinado por la productividad marginal del trabajo en las industrias de artículos para asalariados. Lo que obliga a descartar la hipótesis de salarios nominales constantes, debido a que los cambios en la demanda efectiva no son compatible con un nivel de salarios fijo.
- VII) De acuerdo a la teoría neoclásica, la demanda efectiva debe ser igual a la oferta agregada para cualquier volumen de ocupación:
- VIII) Un aumento en el volumen de ocupación ocasionara un aumento en el ingreso que se espera la sociedad consumirá, lo que a su vez provocará un aumento en la demanda

---

<sup>3</sup> Keynes describe este punto como el corazón de su teoría general (2003, p. 59).

efectiva, pero en una magnitud menor. De acuerdo al punto (II), cuando el ingreso de los individuos aumenta, debido a su propensión a consumir, éstos no consumirán la totalidad de este incremento y, conforme mayor sea el volumen de ocupación, la brecha entre el precio de la oferta agregada, de la producción efectiva y del ingreso que se espera la sociedad consumirá, será más grande. En otras palabras, el crecimiento económico solo puede ocurrir por dos vías: que la propensión marginal a consumir aumente, o que el ingreso que se dedicará a las inversiones crezca cubriendo la diferencia entre la oferta agregada y el ingreso que se espera para el consumo.

### 2.1.2 Modelo ricardiano: Crecimiento económico con rendimientos a escala decrecientes<sup>4</sup>

La importancia de estudiar el modelo ricardiano recae en el supuesto de los rendimientos a escala decrecientes. Aunque la mayoría de los trabajos que estudian el crecimiento económico en la actualidad utilizan variables que rompen este supuesto, es importante conocer la génesis de la función de producción antes de modelar con nuevas alternativas. En un modelo ricardiano, la función de Producción Agregada (Y) depende de cuatro insumos: Tierra (N), Trabajo (L), Capital (K) y Tecnología (T).

$$Y = f(N, L, K, T) \quad (2.1)$$

Para que la función de producción agregada siga un comportamiento lógico, se deben realizar las siguientes restricciones:

$$\frac{dY}{di} > 0$$

$$\forall i = N, L, K. \quad (2.2)$$

Es decir, la productividad marginal de la tierra ( $PM_N$ ), la productividad marginal del trabajo ( $PM_L$ ) y la productividad marginal del capital ( $PM_K$ ) deben ser positivas, pero deben obedecer a la ley de los retornos a escala decrecientes:

$$\frac{d^2Y}{didi} < 0$$

---

<sup>4</sup> El modelo es un ejemplo clásico del análisis ricardiano basado del libro de Cypher&Dietz (2002), que se encuentra en la bibliografía.

(2.3)

Lo anterior ejemplifica que cantidades adicionales de cada factor  $i$ , manteniendo los otros insumos constantes, aumentan el nivel de producción pero en tasas decrecientes. El cambio tecnológico puede ser considerado exógeno en el corto plazo:

$$\frac{dY}{dT} = 0$$

(2.4)

El crecimiento económico entonces dependerá de las tasas de productividad de los cuatro factores de producción en el tiempo ( $t$ ):

$$\frac{dY}{dt} = PM_N \frac{dN}{dt} + PM_L \frac{dL}{dt} + PM_K \frac{dK}{dt} + \frac{dY}{dT} \frac{dT}{dt}$$

(2.5)

Bajo el supuesto de que las dotaciones de tierra son fijas y no cambian en el tiempo, es razonable asumir que  $dN/dt=0$ . La cantidad de tierra, o en general, de cualquier recurso natural, es exógena y por ello es el factor que limita el crecimiento económico de los países. El crecimiento de la fuerza laboral y de la población en el tiempo,  $dL/dt$ , es proporcional a la tasa de acumulación del capital,  $dK/dt$ . Entre mayor sea la acumulación de capital, mayor será el número requerido de trabajadores para operar esas máquinas. Por lo que  $dL/dt = q dK/dt$  ( $q > 0$ ), donde  $q$  representa el número de trabajadores necesarios por cada unidad de capital,  $K$ .

En otras palabras, la fuerza laboral crecerá en una proporción  $q$  de la tasa de acumulación del capital. Utilizando (2.5) se puede escribir:

$$Y = (qf_L + f_K)K$$

(2.6)

Esta ecuación identifica los elementos básicos de la teoría ricardiana. Por un lado, el crecimiento de la producción es determinado por dos factores: por la acumulación del capital y por la productividad del trabajo. Las dotaciones de tierra y de recursos naturales son elementos importantes en el modelo de crecimiento de Ricardo pues, como se explicó anteriormente, la

dotación de recursos es fija<sup>5</sup>. El límite del crecimiento económico entonces deberá estar ligado a la ley de los retornos a escala decrecientes. Debido a que la  $PM_L$  decrece a medida que aumenta  $L$ , eventualmente se alcanzará el punto de estado estacionario en el ingreso per cápita.

### **2.1.3 La Síntesis Neoclásica: El Modelo de Hicks**

El modelo de Hicks (1985, pp. 143-152), también conocido como la Síntesis neoclásica, fue una proposición de John Hicks sobre su entendimiento de la teoría neoclásica y de la teoría general de Keynes. La aportación de este modelo fue la construcción de un marco formal y lógico de los supuestos de ambas teorías.

En general, la interpretación de Hicks de la teoría neoclásica se resume en tres ecuaciones fundamentales: una que iguala la demanda de dinero con la renta total, una que relaciona la inversión con la tasa de interés, y otra que iguala el ahorro con la inversión. De acuerdo a estas ecuaciones, al conocer la velocidad de circulación y la demanda de dinero, se conoce el valor de la renta total. El problema con esta teoría es que si se conoce el valor de la renta, la ocupación total queda como un valor determinado. Este resultado no es del todo correcto debido a que el nivel de ocupación total también depende del ahorro y de la distribución de la producción en bienes de capital y de consumo. En cuanto a la interpretación de Hicks (1985, p. 147) sobre la teoría general de Keynes, la demanda de dinero dependía de la tasa de interés pero excluía cualquier posible efecto esta última sobre el nivel de ahorro.

De este modo, la aportación de Hicks consistió en completar este sistema de ecuaciones identificando que ambas posturas tenían la razón pero estaban incompletas, la demanda de dinero era una función de ambas variables: de la renta total y de la tasa de interés. En el modelo de Hicks, la renta y el tipo de interés se determinan por la interacción del mercado de bienes ( $IS$ ) y de la demanda de dinero ( $LM$ ). Desplazamientos de la curva  $IS$  hacia la derecha incrementan la producción total y aumentan la tasa de interés, desplazamientos de la curva  $L$  hacia la derecha incrementan el producto y disminuyen la tasa de interés.

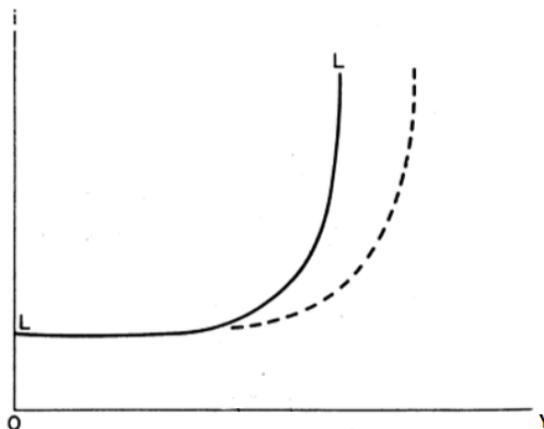
La unificación de los postulados neoclásicos con la teoría general de Keynes se ilustra mejor en la figura 2.1. Como se vió anteriormente, para Keynes el equilibrio de la oferta agregada ( $L$ ) y de la demanda efectiva podía ocurrir tal que el nivel de ocupación fuera inferior a su plena

---

<sup>5</sup> El supuesto excluye la posibilidad de los países de conquistar a otros, se refiere a la dotación total.

capacidad, lo que se representa en la sección horizontal de L. En el análisis neoclásico, un aumento de la demanda efectiva solamente eleva el precio<sup>6</sup> y no incrementa el nivel de producción total, lo que corresponde a la sección vertical de L.

### **Gráfica 2.1 Modelo de Hicks: Oferta Agregada**



Fuente: Hicks, J. “Keynes y los “Clásicos”: una posible interpretación (1985).

## **2.2 Modelos de crecimiento exógeno**

Después de que Keynes postulara su teoría general y que Hicks escribiera la síntesis neoclásica, la curiosidad por entender el crecimiento económico con nuevas herramientas permitió que los economistas desarrollaran nuevos modelos de crecimiento. Estos primeros modelos ya no centraban su atención en el análisis microeconómico como lo hacía la teoría neoclásica, el enfoque ahora era macroeconómico y estudiaba el comportamiento agregado de las variables en la economía.

En general, se les conoce como modelos de crecimiento exógeno a los modelos económicos que atribuían como determinantes del crecimiento a la tasa de ahorro, a la fuerza laboral, al capital, al nivel de depreciación y al progreso tecnológico. Con estas variables, los modelos de crecimiento exógeno fueron capaces de explicar cómo se originaba el crecimiento económico o, al menos, cómo se podía sostener.

Aunque los modelos de crecimiento exógeno son incapaces de explicar los diferentes grados de crecimiento económico que los países han experimentado con el paso del tiempo, sus supuestos

---

<sup>6</sup> La tasa de interés puede considerarse como un precio.

y estructura teórica aún sirven de referencia y apoyo en las investigaciones más recientes. La mayoría de los trabajos que estudian el crecimiento económico de algún país, sin importar su enfoque, parten del marco teórico del modelo de Solow, o de alguna variante del modelo de Harrod-Domar. El entendimiento de estos modelos permite trabajar la función de producción y modificarla con el objetivo de entender el crecimiento económico desde nuevas perspectivas.

### 2.2.1 Modelo de Harrod-Domar<sup>7</sup>

El modelo de Harrod-Domar plantea que las economías deben invertir en capital para expandir su crecimiento, y esto solo ocurrirá por la proporción ahorrada de su renta total. Ahora bien, el modelo tiene el supuesto de que hay una relación directa entre el capital ( $K$ ) y la renta total ( $Y$ ), que se le conoce como ratio capital-producto ( $k$ ).

$$\frac{K}{Y} = c \tag{2.7}$$

También se asume que el nivel de tasa de ahorro ( $s$ ) es fijo y que la inversión depende del ahorro total en la economía. De esta forma, el ahorro neto ( $S$ ) es igual a una proporción de la renta total:

$$S = sY \tag{2.8}$$

La inversión neta ( $I$ ) se define como el cambio en el capital ( $\Delta K$ ):

$$I = \Delta K \tag{2.9}$$

Como el capital y la renta total se relacionan con la misma proporción, es correcto escribir:

$$\frac{\Delta K}{\Delta Y} = k$$

---

<sup>7</sup>El modelo se retoma de la simplificación de Todaro & Smith (2012, pp. 112-114).

(2.10)

De tal manera que el cambio en el capital se define como una proporción constante del cambio en la renta total:

$$\Delta K = k\Delta Y$$

(2.11)

Para completar el modelo, el ahorro debe igualar a la inversión neta:

$$S = I$$

(2.12)

Que, de acuerdo a (2.9) y a (2.11), la inversión neta será igual a la proporción constante, definida por la relación capital-producto, de la renta total:

$$I = \Delta K = k\Delta Y$$

(2.13)

Para completar el modelo, con (2.12) la inversión neta iguala al ahorro neto, característica de los modelos de crecimiento neoclásicos:

$$S = sY = k\Delta Y = \Delta K = I$$

(2.14)

Utilizando las proporciones de ahorro y del ratio capital-producto de (2.14), y reacomodando los términos, se obtiene:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{s}{k}$$

(2.15)

De acuerdo a (2.15), la tasa de crecimiento de la renta total (la parte izquierda de la igualdad) será determinada por la tasa de ahorro y por el ratio de capital producto. Entre mayor ahorren los países, permaneciendo constante su ratio de capital producto, mayor será su tasa de crecimiento. En cambio, si su ahorro es constante pero su ratio de capital-producto aumenta, su tasa de crecimiento disminuirá.

La ecuación (2.15) también puede expresarse utilizando el ahorro bruto (sG) en lugar del ahorro neto y añadiendo la tasa de depreciación del capital ( $\delta$ ):

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{s}{k} - \delta \tag{2.16}$$

Además del nivel de ahorro, la fuerza laboral y el progreso tecnológico también pueden influir en la tasa de crecimiento de las economías. La fuerza laboral es considerada abundante y responde instantáneamente a la demanda de trabajadores requeridos por incrementos en el capital, lo que genera un aumento en la renta total. El progreso tecnológico se manifiesta a través del ratio capital-producto: a medida que aumente el nivel de tecnología, con una inversión fija, el ratio disminuirá y el crecimiento de la renta total será mayor.

### **2.2.2 Modelo de crecimiento económico de Solow**

El modelo de crecimiento de Solow (1956) es un modelo de largo plazo que supone un sólo bien, la producción total, de tal forma que el ingreso estará expresado en los mismos términos. En otras palabras, el valor total de la producción es igual al ingreso total. Este modelo sigue los supuestos de la teoría neoclásica: una parte del ingreso se consume y otra se ahorra; los inventarios de capital representan la acumulación del mismo en función del tiempo; la proporción del ingreso que se ahorra es constante y determina el nivel de inversión. La inversión neta entonces es una proporción del aumento del capital.

A diferencia de los modelos ricardianos, los modelos de crecimiento neoclásicos se caracterizan por omitir insumos de producción que no puedan aumentar su dotación, como la tierra. Así, la función de producción es homogénea de primer grado<sup>8</sup> y está determinada por dos factores:

---

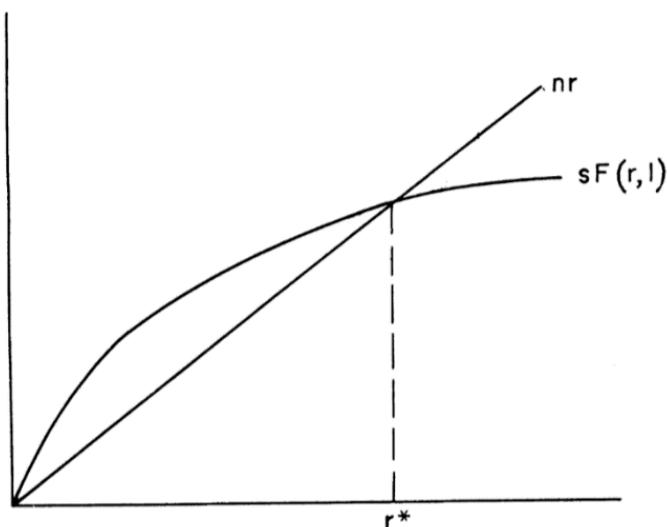
<sup>8</sup> En otras palabras, presenta retornos a escala constantes.

el capital y el trabajo. De este modo, la proporción del aumento del capital es una función que depende del ahorro y de los factores productivos. Sin embargo, para completar el modelo es necesario determinar la naturaleza de la demanda de trabajo. Con los postulados de la teoría neoclásica se conoce que la tasa de salario real es igual a la productividad marginal del trabajo, de tal forma que, de especificar una ecuación de la oferta de trabajo, se tendría un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas: el capital, el trabajo y el salario real.

La fuerza de trabajo está determinada por un factor exógeno producto del crecimiento de la población ( $n$ ). La acumulación de capital es una función del capital y del trabajo disponible. Ahora bien, el trabajo disponible puede ser representado como la curva de oferta de trabajo, que es una línea vertical que sólo se desplazará por el crecimiento de este trabajo. De esta forma, el salario real se ajusta para que todo el trabajo disponible sea empleado. Dependiendo de la productividad marginal, el salario será mayor o menor.

La curva de producto total por trabajador es resultado de la relación capital-trabajador ( $r$ ) y se caracteriza por surgir del origen y tener un grado de concavidad. Esto implica que se requieren cantidades positivas de ambos insumos para que exista producción, y que la productividad marginal del capital es decreciente.

**Gráfica 2.2 Modelo de Solow: Curva de producto total y estado estacionario.**



Fuente: Solow, R. "A Contribution to the Theory of Economic Growth" (1956).

En la Figura 2.3, solamente en  $r^*$  el sistema se encuentra en equilibrio y la tasa de crecimiento es estable. En cualquier otro punto, el ratio de capital-trabajo se ajustará y convergerá a  $r^*$  hasta un punto de crecimiento balanceado igual a la tasa natural.

### **2.3 Teoría del crecimiento endógeno**

La evidente conclusión de los modelos de crecimiento exógeno de que las economías convergerían en un punto de crecimiento nulo, y el diferente grado de crecimiento entre países desarrollados y subdesarrollados, creó un descontento uniforme en la capacidad predictiva de estos modelos. Incluso los resultados empíricos que utilizaban los supuestos y herramientas de la teoría neoclásica encontraban que las tasas de crecimiento económico no dependían completamente de la relación capital-trabajo (Cypher & Dietz, 2002, p. 244).

En la década de 1980, una nueva serie de modelos empezaron a incluir nuevas variables que el pensamiento neoclásico no consideraba. Variables que se concentraban en el bienestar de la sociedad, como la educación, la salud, el medio ambiente, extendieron la visión de la ciencia económica.

La principal característica de este nuevo tipo de modelos es que contradecía el supuesto de retornos a escala decrecientes en la producción, por primera vez se admitió el hecho de que un insumo productivo podía tener un efecto más que proporcional en la renta total de una economía, contrario al modelo de Ricardo. La importancia de este último supuesto permitió explicar la diferencia en las tasas de crecimiento entre países y, más aún, por qué éstas no parecían converger hacia el estado estacionario.

El modelo de Romer es similar al de Solow en algunos puntos. El modelo parte de la idea de que el crecimiento es resultado de las industrias y que su producción exhibe el comportamiento de retornos constantes a escala, pero difiere en el sentido de que reconoce que la acumulación de capital ( $K^*$ ) tiene un efecto en la producción industrial ( $Y_i$ ), de tal modo que pueden existir retornos a escala crecientes.

La acumulación de capital representa el conocimiento de las empresas en el sistema productivo. Similar al modelo de Solow, donde se identifica un factor exógeno ( $A$ ) que modifica el valor del producto total, el modelo de Romer considera que ese conocimiento del proceso

productivo es un bien público que todas las empresas utilizan y desarrollan. De tal manera que la función de producción de cada industria es similar y se expresa de la siguiente manera:

$$Y_i = AK_i^\alpha L_i^{1-\alpha} K^{*\beta} \quad (2.17)$$

Por el supuesto de similitud entre las industrias, (2.17) puede reescribirse en su forma agregada como:

$$Y = AK^{\alpha+\beta} L^{1-\alpha} \quad (2.18)$$

En (2.18), se considera que no hay un progreso tecnológico, por lo que  $A$  es una constante. Ahora bien, el modelo debe medir el cambio del producto en tiempo ( $t$ ) de tal forma que se exprese en términos crecimiento. Para lograrlo, primero se obtiene la diferencia total de (2.18):

$$\frac{dY}{dt} = Y \cdot = \frac{\partial Y}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial t} + \frac{\partial Y}{\partial L} \frac{\partial L}{\partial t} \quad (2.19)$$

Consecuentemente, en (2.18) se deriva parcialmente el producto con relación a cada insumo productivo:

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = (\alpha + \beta)AK^{\alpha+\beta-1}L^{1-\alpha} \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = (1 - \alpha)AK^{\alpha+\beta}L^{-\alpha} \quad (2.21)$$

Al sustituir (2.20) y (2.21) en (2.19), se obtiene:

$$Y \cdot = [AK^{\alpha+\beta}L^{1-\alpha}] \left[ (\alpha + \beta) \frac{K \cdot}{K} + (1 - \alpha) \frac{L \cdot}{L} \right]$$

$$/ \quad K \cdot = \frac{\partial K}{\partial t} \quad y \quad L \cdot = \frac{\partial L}{\partial t} \quad (2.22)$$

Seguendo (2.17), el primer término entre corchetes de (2.22) corresponde al valor de la producción total. Retomando el modelo de Solow, la proporción de la acumulación del capital con relación al capital, el cambio en el producto total con relación a la producción y la función de trabajo agregada, todos son términos constantes. También se conoce del modelo de Harrod-Domar que la acumulación del capital es igual al nivel de inversión menos la depreciación del capital y que la inversión es igual al ahorro total:

$$K \cdot = I - \delta K = sY - \delta K$$

Reacomodando términos:

$$\frac{K \cdot}{K} = \frac{sY}{K} - \delta \quad (2.23)$$

De esta forma, se demuestra que la acumulación de capital como proporción del capital es un valor fijo. Por otra parte, en el modelo de Solow se comprobó que el cambio en la producción en relación al producto total también era un valor constante, por lo que:

$$\frac{K \cdot}{K} = \frac{Y \cdot}{Y} = g \quad (2.24)$$

Al dividir la ecuación (2.22) entre el producto total, el lado izquierdo de la igualdad representa el valor constante de (2.24), que mide el cambio del producto total en el tiempo considerando su valor inicial, es decir, la tasa de crecimiento de la producción:

$$\frac{Y \cdot}{Y} = g = \frac{[AK^{\alpha+\beta}L^{1-\alpha}] \left[ (\alpha + \beta) \frac{K \cdot}{K} + (1 - \alpha) \frac{L \cdot}{L} \right]}{Y}$$

Substituyendo el lado derecho de la igualdad por el valor del producto total, la expresión anterior puede representarse como:

$$g = (\alpha + \beta) \frac{\dot{K}}{K} + (1 - \alpha) \frac{\dot{L}}{L} \quad (2.25)$$

En (2.24) se explicó que la proporción de la acumulación del capital como proporción del capital corresponde a un valor fijo e igual a la tasa de crecimiento. Por otra parte, de acuerdo al modelo de Solow, la oferta de trabajo también es una constante. Se puede definir entonces que:

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \quad (2.26)$$

Finalmente, al sustituir (2.24) y (2.26) en (2.25), y simplificando términos, se obtiene:

$$g = \frac{n(1 - \alpha)}{1 - (\alpha + \beta)} \quad (2.27)$$

En el modelo de Solow, el crecimiento del producto total siempre será igual a cero si no consideramos un progreso tecnológico en la función de producción. Esto ocurre porque la función se define como homogénea de primer grado y los retornos a escala son constantes, de modo que  $\beta=0$ . Sin embargo, en el modelo de Romer las externalidades del conocimiento en la función de producción de las industrias permiten que  $\beta>1$ . Con este supuesto, en (2.27) el denominador será menor a uno y el crecimiento será positivo. El modelo ahora es capaz de explicar el crecimiento del producto total utilizando variables dentro de su sistema en lugar de concluir que sólo un progreso tecnológico, que ocurre por razones independientes al modelo, generará crecimiento.

#### **2.4 Estudio de literatura de la economía de la energía (*energy economics*)**

Con los modelos de crecimiento endógeno, nuevas variables empezaron a considerarse como promotoras del crecimiento económico. Ahora, factores como el capital humano, las instituciones, los recursos naturales y la energía, aparecieron como insumos en nuevas funciones de producción que promovían un crecimiento económico no estacionario.

Las distintas dotaciones de recursos y el distinto progreso tecnológico de los países atrajeron la atención de estos modelos hacia el uso e intensidad de la energía en el proceso productivo. Una

nueva corriente de pensamiento económico había surgido que se le conoce como economía de la energía.

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 se han utilizado herramientas estadísticas para probar la veracidad de sus argumentos. En este sentido, economistas especializados en esta materia han estudiado esta relación con diferentes métodos econométricos y con una interpretación distinta del término “energía”.

Aunque se trate de un concepto amplio, en términos generales, en estos modelos energía se refiere a la cantidad de esfuerzo necesario para transformar los insumos en producción. Este esfuerzo puede medirse como el uso, consumo, intensidad, o incluso disponibilidad de algún recurso, por ejemplo la electricidad, el petróleo, combustibles fósiles, entre otros.

Los autores que investigan la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico generalmente han utilizado el modelo de Solow como sustento teórico para modificar su función de producción. Estos modelos suponen que el progreso técnico de Solow es una función de otras variables, entre ellas la energía. Sin embargo, este supuesto no se ha sostenido de manera uniforme al estudiar el caso de distintas economías.

Entre los trabajos más relevantes se encuentra el modelo de Saunders (1992) que ha sido analizado por economistas interesados en la economía de la energía debido a que provee un marco teórico y empírico que mide los efectos de la energía en el corto y largo plazo. Este trabajo analizó con un enfoque macroeconómico el efecto de aumentos de la eficiencia energética sobre el consumo de energía en el largo plazo. La función de producción se describe en términos neoclásicos, con el progreso tecnológico como causa del crecimiento económico. Al mismo tiempo, el progreso tecnológico representa aumentos en eficiencia de tres insumos productivos: el capital, el trabajo y la energía. Matemáticamente, la función de producción se expresa como:

$$Y = \tau_N F(\tau_K K, \tau_L L, \tau_E E) \tag{2.28}$$

donde  $Y$  es la producción real,  $K$  es el capital,  $L$  es el trabajo,  $E$  es la energía,  $\tau_N$  es el progreso tecnológico neutro,  $\tau_K$  es el progreso tecnológico del aumento del capital,  $\tau_L$  es el progreso

tecnológico del aumento del trabajo y  $\tau_E$  es el progreso tecnológico del aumento de la energía. Las tecnologías que mejoren la eficiencia energética serán una combinación de todas estas formas de progreso tecnológico (Saunders, 1992, p. 135). Los resultados muestran que, contrario a la opinión tradicional, una mayor eficiencia puede aumentar el consumo total de energía por dos razones: primero, porque su precio ahora es relativamente menor y puede substituir al trabajo; y segundo, porque el aumento del crecimiento económico requerirá más consumo de energía.

Otro de las aportaciones que surgieron con el objetivo de argumentar si existe alguna complementariedad entre el capital y la energía fue el de John Solow (1987), que demostró teóricamente que el precio de la energía afecta la composición de la producción total. En este trabajo se argumenta que el capital y la energía son complementos en el corto plazo pero sustitutos en el largo plazo. El objetivo del autor fue estudiar la composición de la producción que resulta del incremento en el precio de la energía, de modo que si la producción industrial depende de bienes con diferente intensidad energética, entonces habrá cambios de composición que ocurrirán con la sustitución de factores en la función de producción de cada bien (Solow, 1987, p. 606). El autor propone un modelo que, en lugar de pretender ser cuantitativo o descriptivamente correcto, se enfoca en el efecto de shocks en el precio de la energía y sus implicaciones en el debate de la complementariedad del capital y el uso de energía.

El modelo considera dos tipos de bienes: intensivos en energía y no intensivos en energía. Hay tres insumos que determinan el nivel de producción: capital, trabajo y energía. No considera la movilidad del capital y del trabajo, en el sentido que  $K$  y  $L$  son ofertados por la economía doméstica y la demanda de exportaciones es similar a la demanda de consumo doméstica. La producción de cada bien se ilustra con una función de producción tipo Leontieff. Como el precio relativo es lo importante, se permite que uno de los bienes sirva como numerario. De este modo, las variables exógenas del modelo son la oferta de trabajo y de capital, el consumo doméstico y del mundo de los dos bienes, el nivel de importaciones de energía, y los precios del capital, del trabajo y de cada bien. El precio de la energía es la variable exógena.

En general, las conclusiones de este trabajo sugieren que el equilibrio general responde a *shocks* en el precio de la energía: un aumento en el precio de la energía eleva los costos de producción, lo que ocasiona una disminución en la producción de uno o ambos bienes; una disminución del precio de la energía ocasiona el efecto contrario. Finalmente, el análisis demuestra

que la sustitución de factores debe estudiarse con un enfoque microeconómico debido a que las interpretaciones que se basan en datos agregados capturan el efecto de la sustitución tecnológica.

Por otra parte, el trabajo de Stern (2010) parte de la idea de que las leyes de la termodinámica deben cumplirse del mismo modo en cualquier sistema económico, es decir, para producir cualquier bien es necesario utilizar en igual o mayor proporción alguna cantidad de materia y que en el proceso productivo se requiere un mínimo de energía. Aquí se muestra la evolución de la función de producción desde tres perspectivas: los modelos de crecimiento sin recursos naturales, los modelos de crecimiento con recursos naturales pero sin cambio tecnológico, y los modelos de crecimiento con recursos naturales y con cambio tecnológico. Aunque el autor analiza por separado las consecuencias teóricas y empíricas de añadir a la energía en la función de producción, la conclusión es la misma “la energía y el producto están estrechamente entrelazados con la disponibilidad energética jugando un papel vital para permitir el crecimiento” (Stern, 2010, p. 38). La eficiencia producto del progreso tecnológico puede disminuir la cantidad absoluta de consumo de energía en una economía, sin embargo, la energía sigue siendo un factor importante para el aumento del producto.

Arshad, et al. (2007), analizaron la contribución de la energía desde dos enfoques distintos: como consumidores y como productores. Por el lado de la demanda, la energía es uno de los productos que los consumidores eligen para maximizar su utilidad. Por el lado de la oferta, la energía es uno de los factores de producción, junto al capital, al trabajo y a los recursos naturales. De acuerdo a estos autores, la causalidad entre estas variables puede ser del consumo de energía hacia el PIB, del PIB hacia el consumo de energía, o puede no existir relación entre ambas variables. Si sucede la primera alternativa, significa que la escasez de energía puede afectar la tasa de crecimiento de las economías; la segunda alternativa se refiere a que se pueden implementar políticas conservativas de energía sin esperar algún cambio negativo en el producto ni en el empleo; y la tercera alternativa indica que las políticas de energía pueden implementarse sin esperar cambios en el sistema económico. Estos autores utilizaron un modelo multivariado de rezagos distribuidos para estudiar la relación de largo plazo entre el consumo de energía y el crecimiento económico de cuatro economías de Asia del Sur: Bangladesh, India, Pakistán y Sri Lanka. La conclusión a la que llegaron es que existe una brecha entre el consumo de energía y la producción de energía que crece con el tiempo, lo que provocará un desaceleramiento en el

crecimiento económico de estas economías. Los resultados también indican que la causalidad, en los cuatro países, corre del consumo de energía al crecimiento del producto.

Cheng (1999) estudió la relación causal entre ambas variables utilizando un análisis de cointegración y un modelo de corrección de error para el caso de India. El autor utilizó un modelo multivariado para reducir la probabilidad de obtener una causalidad sesgada entre las variables, de tal manera que su función de producción utiliza no solo el consumo de energía y el producto, sino también al capital y el trabajo. El estudio encuentra una cointegración entre las cuatro variables siguiendo un equilibrio de largo plazo en India, y una causalidad que corre del crecimiento económico al consumo de energía.

Gardner & Joutz (1996) enfocaron su estudio utilizando un modelo de corrección de error en Estados Unidos. A diferencia de otros estudios, estos autores incluyeron directamente el efecto de los precios de la energía en el consumo de energía y en el producto. A diferencia del trabajo de Kraft & Kraft (1978) donde no se encontró ninguna relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico, en esta investigación se concluye que la causalidad entre las variables va del consumo de energía hacia el producto. También se encontró que shocks en los precios tienen un efecto desacelerador en el crecimiento económico, mientras que una disminución del precio de la energía no tiene ningún impacto en la producción agregada (1996, p. 664).

Mallick (2009) utilizaron pruebas de causalidad de Granger para medir el efecto del consumo de energía en el crecimiento económico de India. En esta investigación se sigue la línea del pensamiento neoclásico, en donde un cambio tecnológico es endógeno pero no necesario para explicar al crecimiento del producto. Un nuevo enfoque que este trabajo aporta es que se analiza el impacto que el crecimiento del consumo de energía afecta tanto al crecimiento del consumo privado y a las inversiones privadas. Los resultados prueban que la causalidad entre las variables va del crecimiento económico hacia el consumo de energía.

Otro trabajo que estudió el caso de India fue el de Srinivasan & Sidanth (2015). Estos autores examinan el efecto del consumo de energía conjuntamente con el de las emisiones de carbono en el crecimiento económico utilizando pruebas de raíz unitaria, de causalidad, cointegración de Gregory & Hansen y un modelo de corrección de error. Al igual que Mallick (2009) y Paul & Bhattacharya (2004), los resultados sugieren que la relación entre estas variables existe y es el consumo de energía el que causa al crecimiento económico.

Medlock & Soligo (2001) estudiaron la naturaleza de estas variables con un enfoque distinto. En su artículo decidieron estudiar la demanda de energía por sector económico en lugar de utilizar al consumo de energía como una medida agregada. También se definió como sujeto de estudio al desarrollo económico en lugar del crecimiento económico. Para la estimación de resultados se utilizó el método de mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas para 28 países de distintos niveles de desarrollo. Lo que estos autores encontraron fue que la energía siempre es importante para el desarrollo de las economías, y que la eficiencia puede disminuir el consumo de energía pero no eliminarlo.

Razzaqi, et al. (2011), mostraron la evidencia entre el consumo de energía y el crecimiento económico de ocho países musulmanes. De acuerdo a este estudio, la compleja relación de las variables requiere un estudio de su comportamiento tanto en el corto como en el largo plazo. El hallazgo de esta investigación revela que el consumo de energía tiene un impacto en el lado de la demanda y de la oferta en estos países. Los países que se estudiaron fueron Bangladesh, Egipto, Indonesia, Irán, Malasia, Nigeria, Pakistán y Turquía. Al utilizar la prueba de causalidad de Granger se encontró que existía una relación entre el consumo de energía y el crecimiento del producto para todos los países (aunque la causalidad no siempre proviene de la energía hacia el crecimiento) con excepción de Indonesia donde no se encontró ninguna relación entre las variables. Sin embargo, en todos los países el PIB real y el consumo de energía cointegraron. La aportación de este estudio también muestra que los países ricos en energía solar, eólica, biomasa, entre otras, necesitan ampliar sus proyectos de producción de energía para satisfacer tanto la demanda como la oferta de energía, y así expandir sus sendas de crecimiento.

Siddiqui (2004) utilizó el precio de la energía como una opción para identificar la relación entre la energía y el crecimiento. La metodología del autor consistió en utilizar un modelo de Vectores Auto Regresivos, un modelo de corrección de error, y un modelo auto regresivo de rezagos distribuidos para analizar Pakistán en el periodo 1971-2003. A diferencia de otros trabajos, en esta investigación se utilizaron distintas formas de energía de forma que la relación pudiera diferenciarse de acuerdo al impacto de la electricidad, del gas natural y del petróleo. Nuevamente, la conclusión recalca la importancia que tiene el sector energético para el crecimiento económico de Pakistán. Una escasez de energía puede tener un efecto negativo en el crecimiento económico,

de tal manera que las políticas energéticas son necesarias para alcanzar los objetivos de crecimiento del país.

Con una metodología distinta a los trabajos anteriores, Tang & La Croix (1993) utilizaron datos de panel para referenciar la actividad económica con el consumo de energía en China. Si bien al utilizar esta metodología no se puede concluir sobre la causalidad de las variables, los autores concluyeron que la estructura productiva de China tiene un impacto en el consumo de energía y que la relación entre ingreso per cápita y consumo de energía per cápita ha sido estable en el tiempo.

Omri (2014) realizó una recopilación de trabajos relacionados a la economía de la energía con el objetivo de comparar los resultados y determinar el patrón de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Su metodología consistió en definir el tipo de energía que se utilizó en cada análisis para así concluir cuáles fueron los resultados generales entre este nexo. Siguiendo una idea similar, el Cuadro 2.1 muestra un resumen del estudio de autores y la causalidad que encontraron entre el consumo de energía y el crecimiento económico. La selección de países contempla los distintos grados de desarrollo entre ellos sin diferenciar el tipo de energía que se trabajó. En la mayoría de los trabajos se encuentra una relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Una característica de los resultados que indican una relación neutra entre las variables es que, en su mayoría, el sujeto de estudio es un país desarrollado. Por otro lado, en la mayoría de los estudios, la causalidad va del consumo de energía hacia el crecimiento del PIB. En sincronía con estos resultados, en la economía de la energía comúnmente se manejan cuatro hipótesis sobre las consecuencias que esta relación identifica.

Las hipótesis de causalidad representan una síntesis de los resultados empíricos de la literatura de la economía de la energía (Omri, 2014, p. 952). Estas hipótesis no sólo se refieren al sentido de la causalidad, sino que vinculan el efecto de las políticas económicas como medidas que impactan en el crecimiento económico o en la demanda de energía.

La hipótesis de retroalimentación simboliza una causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Esta hipótesis implica que ambas variables se comportan de manera similar en el tiempo y que pueden considerarse complementos la una de la otra.

La hipótesis de crecimiento se refiere al escenario de una causalidad unidireccional entre el consumo de energía hacia el crecimiento económico, siendo el primero la causa del segundo. La consecuencia de este tipo de relación sugiere que la energía es una variable importante para alcanzar el crecimiento económico. El consumo de energía afecta los otros insumos productivos al participar como un complemento de la función de producción, por lo que cualquier shock en la oferta de energía o en el precio tendrá un efecto negativo en el crecimiento del producto.

La hipótesis de conservación se basa en la idea de que existe una causalidad unidireccional del crecimiento económico hacia el consumo de energía. En este caso, el crecimiento económico ocasiona un aumento en el consumo de energía.

Por último, la hipótesis de neutralidad sugiere que no existe una causalidad entre ambas variables. Aunque la energía sea un componente de la función de producción, su aportación al crecimiento económico es no significativa. Tanto las políticas conservativas como expansivas en el consumo de energía tendrán un efecto nulo en materia de crecimiento económico.

**Cuadro 2.1 Causalidad entre consumo de energía y crecimiento económico**

No.	Autor	Año	País de estudio	CE → Y	Y → CE	CE ↔ Y	CE ←/→ Y
1	Medlock & Soligo	(2001)	28 países (todos los niveles de desarrollo)	✓			
2	Chontanawat, et al.	(2006)	30 países de la OECD y 70 países no de la OECD			✓	
3	Lee	(2006)	Alemania, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Suecia y Suiza.	✓		✓	✓
4	Soytas & Sari	(2003)	Alemania, Francia y Japón	✓			
5	Mehrara	(2007)	Arabia Saudita, Iran, Kuwait		✓		
6	Mozumder & Marathe	(2007)	Bangladesh		✓		
7	Razzaqi, et al.	(2011)	Bangladesh, Egipto, Indonesia, Iran, Malasia, Nigeria, Pakistan, Turquía (D8)	✓			
8	Pradhan	(2010)	Bangladesh, India, Nepal, Pakistán y Sri Lanka	✓			
9	Arshad, et al.	(2007)	Bangladesh, India, Pakistan, Sri Lanka	✓			
10	Khan & Qayyum	(2007)	Bangladesh, India, Pakistan, Sri Lanka	✓			
11	Cheng	(1997)	Brasil, México y Venezuela	✓			✓
12	Yu & Choi	(1985)	Corea del Sur, Estados Unidos, Filipinas, Polonia y Reino Unido	✓	✓		✓
13	Masih & Masih	(1997)	Corea y Taiwán			✓	
14	Gardner & Joutz	(1996)	Estados Unidos	✓			
15	Kraft & Kraft	(1978)	Estados Unidos				✓
16	Stern	(1993)	EUA	✓			
17	Cheng	(1995)	EUA				✓
18	Asafu-Adjaye	(2000)	Filipinas, India, Indonesia y Tailandia	✓	✓		
19	Hondroyannis, et al.	(2002)	Grecia	✓			
20	Cheng	(1999)	India		✓		
21	Mallick	(2009)	India		✓		
22	Srinivasan & Siddanth	(2015)	India		✓		
23	Paul & Bhattacharya	(2004)	India	✓			
24	Pachauri	(1977)	India			✓	
25	Tyner	(1978)	India			✓	

No.	Autor	Año	País de estudio	CE → Y	Y → CE	CE ↔ Y	CE ←/→ Y
26	Mashi & Mashih	(1996)	Indonesia		✓		
27	Fatai, et al.	(2004)	Indonesia	✓			
28	Abbasian, et al.	(2010)	Irán	✓			
29	Loganathan, et al.	(2010)	Malasia			✓	
30	Islam, et al.	(2011)	Malasia		✓		
31	Adeniran	(2009)	Nigeria	✓			
32	Okonkwo & Gbadebo	(2009)	Nigeria			✓	
33	Omotor	(2008)	Nigeria			✓	
34	Ebohon	(1996)	Nigeria y Tanzania			✓	
35	Aqeel & Butt	(2001)	Pakistan		✓		
36	Siddiqui	(2004)	Pakistan	✓			
37	Hwang & Gum	(1991)	Taiwan			✓	
38	Yang	(2000)	Taiwan			✓	
39	Ediger & Huvaz	(2004)	Turquía			✓	
40	Lise & Montfort	(2007)	Turquía		✓		
41	Altinay & Karagol	(2006)	Turquía	✓			

Fuente: Elaboración propia basado en Omri (2014).

Notas:

CE: Consumo de energía.

Y: Crecimiento económico.

CE→Y: Causalidad del consumo de energía al crecimiento económico.

Y→CE: Causalidad del crecimiento económico al consumo de energía.

CE←→Y: Causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

CE ←/→Y: No causalidad entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

En el caso específico de México, se han realizado pocos estudios que indaguen específicamente sobre la relación electricidad y crecimiento económico. Caballero y Galindo (2007) realizaron un análisis con un modelo de vectores autorregresivos y pruebas de cointegración con el objetivo de identificar la relación entre la demanda de energía, la producción y el nivel de precios general. Sus resultados indican que la demanda de energía responde positivamente al ingreso y negativamente a los precios relativos, que el producto responde negativamente al aumento en los precios de la energía posiblemente por el aumento en los costos, y que los precios responden positivamente al aumento en los precios de la energía. Más aún, también encontraron que los precios no pueden ser utilizados como una política económica que pueda disminuir el nivel de consumo energético debido a la fuerte asociación entre el éste último y el producto.

Por otra parte, Álvarez y Valencia (2015) utilizaron regresiones de panel y un modelo panel multivariado de vectores autorregresivos para analizar los efectos de la producción industrial por reducciones en los costos de la energía. Los resultados de este trabajo muestran que los costos de la electricidad y del gas están asociados negativamente con la producción y que el efecto del precio de la energía difiere significativamente entre los subsectores del sector industrial. Finalmente, los autores concluyen que la reforma energética podría atraer beneficios entre los sectores e incrementar el nivel de producción si logra reducir el precio de los energéticos y modernizar la industria del petróleo y del gas.

Es fundamental reconocer las limitaciones que este tipo de estudios pueden tener en el uso de la política económica. Algunas de las críticas que se realizan señalan la variedad de resultados que se han encontrado en la literatura de la economía de la energía: consumo de energía causando al PIB, PIB causando al consumo de energía, causalidad bidireccional y no causalidad (Liddle & Lung, 2015). Una teoría que explique cómo debería ser la política energética de un grupo de países con características semejantes aún no ha sido desarrollada. Por lo tanto, se recalca la importancia de considerar las limitaciones que pueden tener las interpretaciones y sugerencias que surgen de este tipo de estudios.

# **CAPITULO III. DESEMPEÑO DEL SECTOR ENERGETICO Y LA ELECTRICIDAD EN MEXICO**

## **Introducción**

El crecimiento económico es un tema que ha evolucionado en el estudio de la función de producción, de forma que ahora reconoce la importancia de nuevas variables para la elaboración del producto. Una de ellas ha sido la energía que, en cualquier de sus formas, aún genera debate sobre el tipo de causalidad que ésta guarda con el crecimiento económico. Sin embargo, de lo que no hay duda, es que resulta necesaria para la transformación y producción de bienes.

Siguiendo a Stern (2010, p. 2), para entender la forma en que la energía afecta al crecimiento económico, primero debe comprenderse la relación entre energía y producción. De esta manera, en este capítulo se presenta el desempeño del sector energético en México considerando la producción, la comercialización y su regulación. El objetivo es describir las condiciones bajo las que opera el mercado de energía para así deducir el efecto de los cambios en su estructura sobre los precios y el producto.

El capítulo se divide en cinco secciones. En la primera se presenta el marco legal y la regulación de los energéticos en México. La segunda sección expone los distintos tipos de energéticos, su producción y su consumo. En la tercera sección se describe específicamente el sector eléctrico. La sección cuarta hace referencia a la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico. Finalmente, la sección cinco hace un comparativo internacional del sector eléctrico.

### **3.1 Regulación del sector energético en México**

En química, se denominan hidrocarburos a los compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de hidrógeno y carbono. Los hidrocarburos son extraídos del medio ambiente y pueden clasificarse de acuerdo a su estado de agregación: son conocidos como petróleo y gas natural, dependiendo de si su estado es líquido o gaseoso, respectivamente.

La extracción de hidrocarburos es importante para los países ya que con ellos se elaboran plásticos y combustibles, y se genera la energía eléctrica disponible para la industria y los hogares. De tal manera que operar bajo un esquema de competencia perfecta resulta ineficaz, pues los recursos son finitos y deben distribuirse de forma equitativa. Generalmente el gobierno de cualquier economía se decreta como propietario de los yacimientos de petróleo y de gas natural que se encuentren dentro de su territorio, formando así un monopolio gubernamental. Sin embargo, existe la postura de que una empresa paraestatal genera más ineficiencias por la ausencia de un interés maximizador de beneficios. Bajo esta postura, se considera que la iniciativa privada debe operar de manera poco regulada en el sector energético.

#### **3.1.1 Regulación de hidrocarburos**

En México, las operaciones relacionadas con la industria del petróleo son encargadas por la institución pública Petróleos Mexicanos (PEMEX). PEMEX se creó el 7 junio de 1938 para manejar los bienes muebles e inmuebles que fueron expropiados por presidente Lázaro Cárdenas mediante el decreto del 18 de Marzo de 1938 (Zenteno, 1997, p. 90). Por otra parte, la distribución del petróleo se dejó a cargo de la institución Distribuidora de Petróleos Mexicanos.

La actividad privada se consideró dentro del marco regulatorio del petróleo por medio de la Ley Orgánica del artículo 27 Constitucional, en el Ramo del petróleo de 1940, siempre y cuando se mantuviese la forma jurídica de la concesión (Zenteno, 1997, p. 92). De acuerdo a esta ley, el descubrimiento del petróleo, la captación, la conducción y la refinación estaban exclusivamente considerados como actividades del Estado. Asimismo, con la Ley Reglamentaria del artículo 27 del 2 de Mayo de 1941, se estableció que la elaboración y distribución del gas correspondería a servicios públicos y todas las actividades relacionadas tendrían un carácter público.

Desde entonces, tanto la Ley Orgánica como la Ley Reglamentaria se han adaptado a las necesidades vigentes del país pero siempre manteniendo el mismo esquema de Estado regulador.

En 1971, la Ley Orgánica estableció que PEMEX sería un organismo descentralizado y con patrimonio independiente. El objetivo de este cambio fue mejorar la eficiencia de la exploración, refinería, y de todas las actividades relacionadas en el proceso y distribución del gas y del petróleo.

En la década de 1990, con el programa de modernización del sector energético, nuevamente se modificó el interés y la estructura de operación de PEMEX. Con la Ley Orgánica de 1992 de Petróleos Mexicanos se crearon cuatro subsidiarias encargadas de la exploración y producción, de la refinería, del gas y de la petroquímica (Zenteno, 1997, p. 98). Finalmente, en 1995 se publicó la Ley Reglamentaria del artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, con un nuevo marco regulatorio que separa las actividades del Estado y de PEMEX, de tal manera que cada uno se concentre en actividades estratégicas para elevar la calidad, la competitividad y para generar empleos.

### **3.1.2 Regulación de la energía eléctrica**

La CFE fue creada el 14 de agosto de 1937 por decreto del presidente Lázaro Cárdenas con el propósito de generar, distribuir y transmitir energía eléctrica a un bajo costo y sin fines de lucro. En 1949 el Congreso de la Unión aprueba la descentralización de este organismo. Por su parte, el 29 de Diciembre de 1960 se reformó la Constitución y se declaró la nacionalización de la industria y la exclusividad en la prestación del servicio público de energía eléctrica (Treviño, 1997, p. 116). A partir de ese momento, la industria eléctrica se organizó como un servicio público integrado verticalmente desde la generación de energía eléctrica hasta su venta (Rodríguez, 2016).

En el artículo 27 se concedió al Estado la exclusividad en cualquier tipo de actividad relacionada con la energía eléctrica. Sin embargo, en el artículo 28 se establece que sus funciones no podrán constituir un monopolio. La venta de energía eléctrica es dictada por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) considerando las necesidades de la CFE, la que a su vez realiza estudios y análisis para sugerir el monto adecuado de las tarifas tomando en cuenta los costos de generación, transmisión, distribución y su respectiva inflación.

En 1993, debido a las reformas de la Ley del Servicio Público en Energía Eléctrica de 1992, la Comisión Reguladora de Energía fue creada como respuesta a la necesidad de instituciones gubernamentales para realizar funciones de regulación (Páramo, 1997). Las implicaciones de la

reforma de 1992 comprendían principalmente a la participación del sector privado, con previo permiso en la generación de electricidad, en las importaciones y en las exportaciones.

En 2009, Luz y Fuerza del Centro cesa de existir por deficiencias administrativas y se liquida por decreto del presidente de México. Como resultado, la Secretaría de Energía estableció que todas sus actividades de operación y distribución quedarían a cargo de la CFE, siendo responsable de generar, transmitir y comercializar energía en la totalidad del territorio mexicano.

Las actividades de la CFE son reguladas por distintos organismos. Las tareas relacionadas a la explotación y transformación de hidrocarburos y la generación de energía eléctrica son reguladas por la Secretaría de Energía (SE) de acuerdo a lo establecido en el artículo 33 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Más allá de que el sistema no se encontraba en crisis y progresaba continuamente, el gobierno desechó la idea de introducir mejoras funcionales y decidió implementar un nuevo modelo que fomentara la competencia. Esta decisión se basó principalmente en la presencia de altas tarifas eléctricas, una elevada pérdida de distribución, la dependencia de combustibles ineficientes y contaminantes, la insuficiencia de la red de transmisión, y la falta de acceso a la electricidad de más de dos millones de personas (Rodríguez, 2016, pp. 42-43).

### **3.1.3 Reforma energética de 2013**

Dentro del conjunto de reformas económicas presentadas por el gobierno federal, en el 2013 se presentó la Reforma Energética como una iniciativa para modernizar el modelo energético con la finalidad de aprovechar los hidrocarburos, transformándolos y utilizándolos para mejorar las condiciones económicas y sociales del país, fomentar la competitividad del mercado eléctrico nacional y contribuir en el crecimiento económico de México. (Comisión de Energía, 2013, p. 1)

En el marco legislativo de esta reforma, se permite la participación del sector privado en el sector energético, centrándose principalmente en actividades relacionadas con los hidrocarburos. La transmisión y generación de energía eléctrica aún son consideradas un servicio público con responsabilidad exclusiva del Estado. No obstante, con las modificaciones del artículo 27, y con el objetivo de aumentar la oferta de energía en México, se plantea la viabilidad de la participación de particulares (Comisión de Energía, 2013, p. 3). En otras palabras, la reforma del sector energético mantiene la exclusividad del Estado en la planeación, en el control del Sistema Eléctrico

Nacional y en la prestación del servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, pero permite al sector privado su participación en cualquier otra actividad o iniciativa.

La reforma energética de 2013 surge como una respuesta a la necesidad de modernizar la industria eléctrica. De acuerdo a la Comisión de Energía (2013, pp. 4-5), no sólo hay una baja densidad de energía eléctrica, sino que su plan de expansión es incapaz de satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica en el país. La tasa de expansión promedio proyectada es del 1.1% anual hasta el año 2026, mientras que la demanda se estima que crecerá aproximadamente un 4.1% anual. Además, las ineficiencias de operación representan un 15.3 % en la distribución y un 21.28% en pérdidas de comercialización, casi el doble del promedio de los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

De esta forma, la invitación a particulares se considera como una oportunidad para desarrollar tecnología, disminuir costos e impulsar la eficiencia del sector energético sin perder la autonomía de los hidrocarburos y de la energía eléctrica. Se espera que la inclusión del sector privado contribuya en la producción de energía eléctrica al aumentar el número de proyectos de generación, públicos y privados, y que disminuya las tarifas de la electricidad debido a una mayor competencia.

Si bien la reforma busca incentivar la competencia en el sector energético, no modifica el papel del Estado como propietario, operador e inversionista. La intervención del Estado es problemática debido a que la voluntad política puede actuar como un freno del libre desarrollo del mercado e inhibir la competencia dentro de él (Rodríguez, 2016, p. 52).

Aunque es prematuro concluir si los objetivos de la Reforma Energética coinciden con los cambios en la industria de la energía, es evidente que las modificaciones en la infraestructura y la invitación a particulares en algunas áreas de la industria generarán un cambio en el nivel de precios y en la oferta total de los energéticos.

## **3.2 Estructura y desempeño del sector energético**

### **3.2.1 Tipos de energía**

Los tipos de energía se clasifican en dos grupos: primarias o secundarias. Las energías primarias corresponden a aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza o mediante un método de extracción. Las energías secundarias se derivan de las primarias y requieren algún tipo de transformación para su consumo.

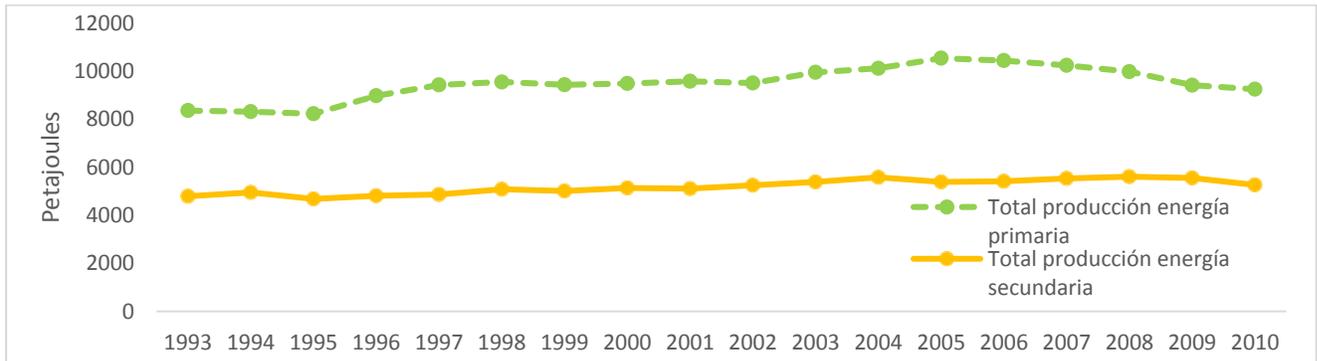
En México, dentro de las energías primaria se encuentra el carbón, los hidrocarburos (petróleo crudo, condensados, gas asociado y gas no asociado), la biomasa (bagazo de caña y leña), y la electricidad (obtenida por nucleenergía, hidroenergía, geoenergía y energía eólica). Estos recursos generalmente sirven materia prima para la elaboración de productos secundarios, o se pueden consumir de manera directa, como en el caso de la biomasa). Por otro lado, las energías secundarias se componen por el coque de carbón, coque de petróleo, gas licuado de petróleo, gasolinas y naftas, querosenos, diésel, combustóleo, productos no energéticos gas natural y electricidad.

### **3.2.2 Producción de energía**

La unidad internacional para medir energía, calor y trabajo es el Joule (J) que, en una de sus equivalencias, se refiere a la cantidad de trabajo que se necesita para producir un vatio de potencia durante un segundo (W/s). Para medir la producción total de energía en el país se utilizan los Petajoules (PJ), magnitud que equivale a  $10^{15}$  J.

En el grafico 3.1 se puede apreciar cómo la producción total de energía se mantuvo estable entre el periodo de 1993 y 2010, con un valor promedio de 9,491 PJ y de 5,190 PJ en la producción de energía primaria y secundaria, respectivamente. En términos de crecimiento, la tasa promedio en ambos tipos de energía fue de 0.6% anual. De hecho, esta baja tasa de crecimiento en la oferta de energía es uno de los problemas que la Reforma Energética de 2013 intenta resolver permitiendo la participación del sector privado, anticipando incrementarla al 1.1% anual.

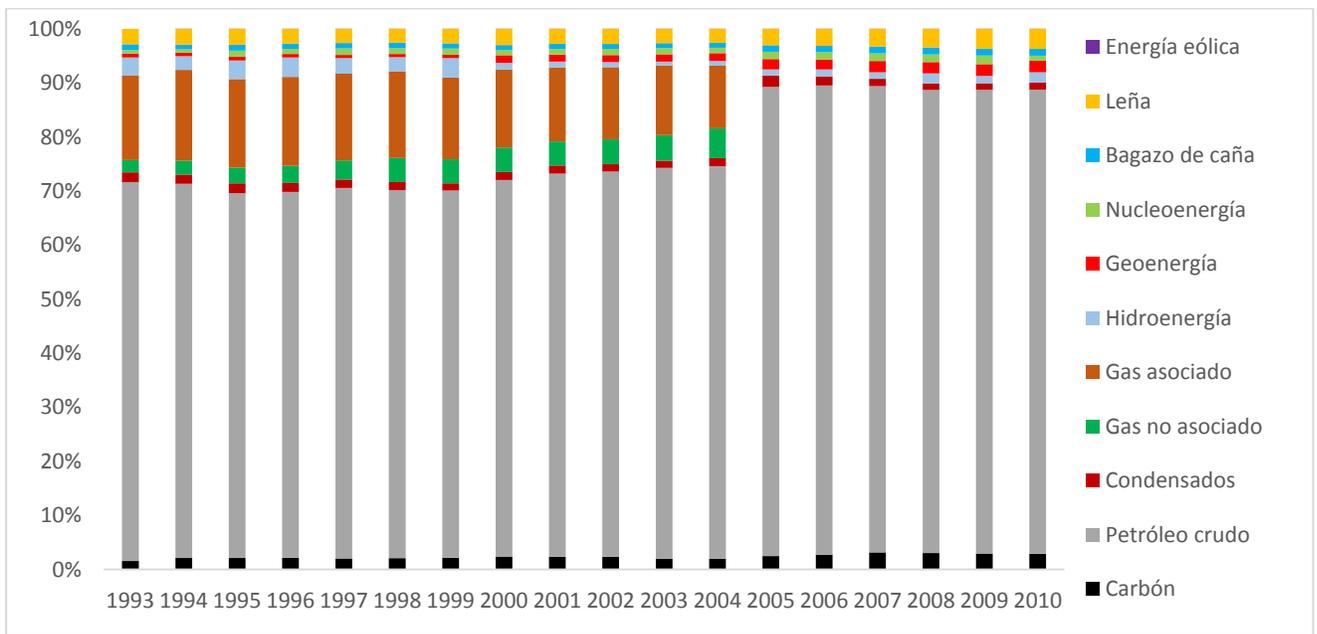
**GRAFICO 3.1 Producción anual de energía**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Dentro de la producción de energía, un tema que se discute en la política energética y económica se refiere a la dependencia de los tipos de energéticos. En el gráfico 3.2 se presenta la distribución de la producción de energía primaria en el periodo de tiempo antes analizado. Como se puede apreciar, la mayor parte de la producción de energía primaria se obtiene del petróleo crudo con un valor promedio de aportación anual de 69%. En general, la producción de energía primaria en México depende de la utilización de hidrocarburos, aproximadamente sólo el 4% proviene de energías renovables y el resto de hidrocarburos.

**GRAFICO 3.2 Distribución de la producción de energía primaria**

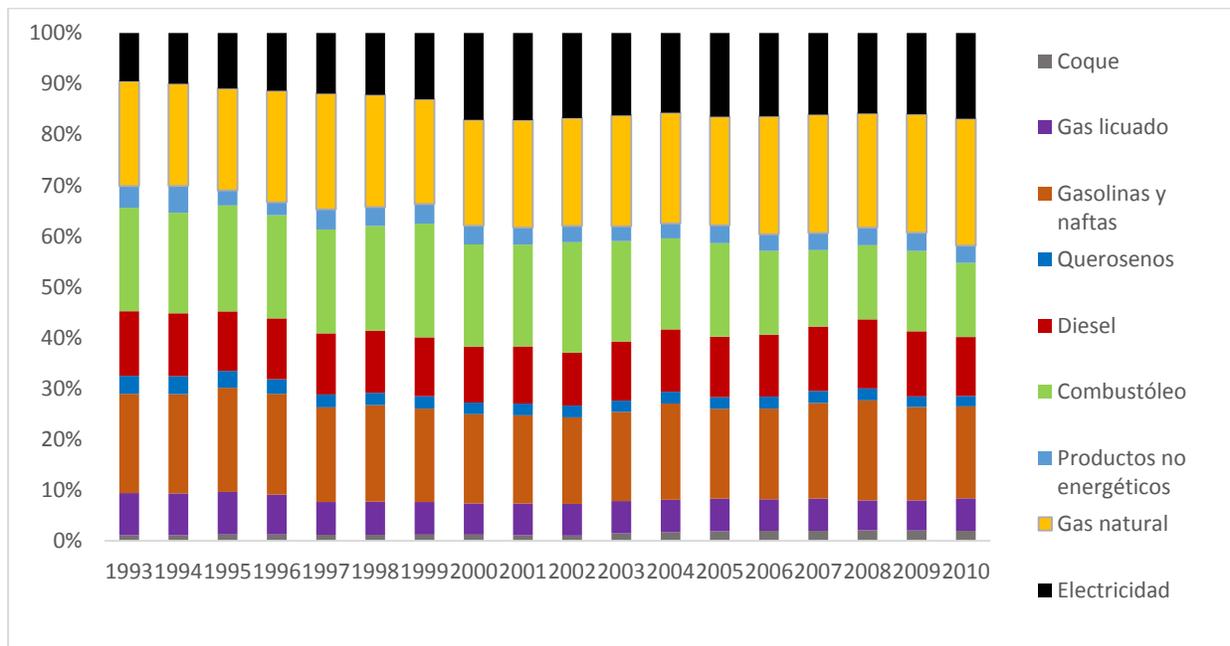


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

El trabajo de Brooks (1985) sugiere que debe haber una transición en la utilización de energía hacia las fuentes renovables o de lo contrario pueden existir implicaciones ambientales, económicas y sociales en el largo plazo. Además, la utilización de las energías renovables tiene la ventaja de requerir menos capital y de generar más empleo.

Con relación a la producción de energía secundaria, en el gráfico 3.3 se observa que la distribución entre energéticos se encuentra más equilibrada que en el caso de la energía primaria. Los productos con mayor aportación son el combustóleo, el gas natural, la electricidad y las gasolinas y naftas. También se puede apreciar que la contribución de la mayoría de los energéticos es estable durante el periodo de tiempo. El coque, el gas natural y la electricidad son los energéticos que más aumentaron su contribución, con una tasa promedio anual de 5%, 2% y 4%, respectivamente.

**GRAFICO 3.3** Distribución de la producción de energía secundaria<sup>9</sup>



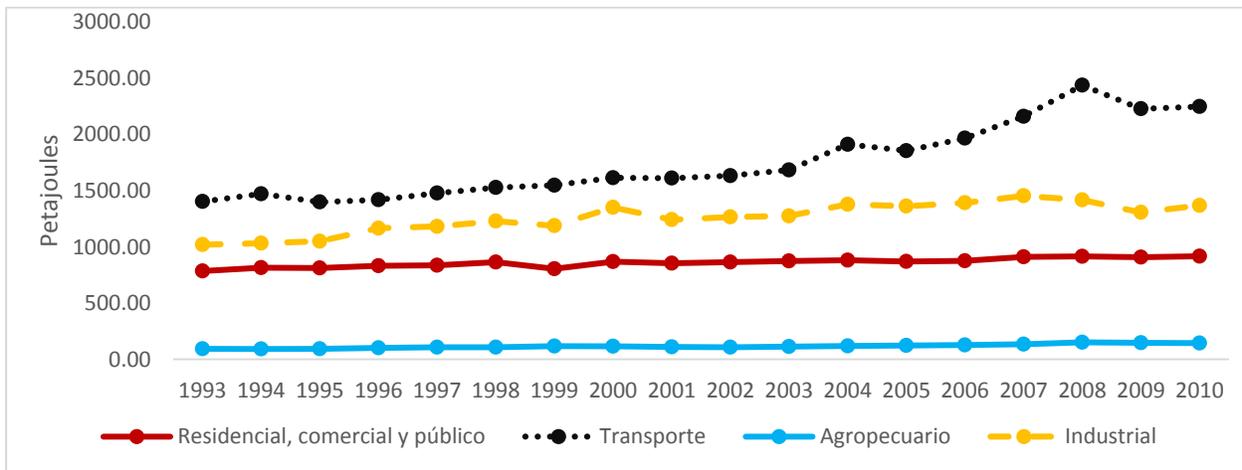
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

<sup>9</sup> Del 2005 en adelante, el gas natural se calculó como la diferencia de la producción total de energía menos el total de la suma de los demás energéticos.

### 3.2.3 Consumo de energía

Aunque existen distintas clasificaciones para medir el consumo de energía en un país, para efectos de esta tesis se considera el consumo final de la energía por sectores. El consumo final se refiere a toda la energía y materia prima que se utiliza en los distintos sectores económicos, siendo éstos el agropecuario, el industrial, el de transporte y el residencial comercial y público. Por otra parte, el consumo del sector energético está compuesto por las actividades de autoconsumo, de consumo por transformación, por las pérdidas por distribución, y por la diferencia estadística, insumos y traspasos.

**GRAFICO 3.4 Consumo final de energía por sectores**

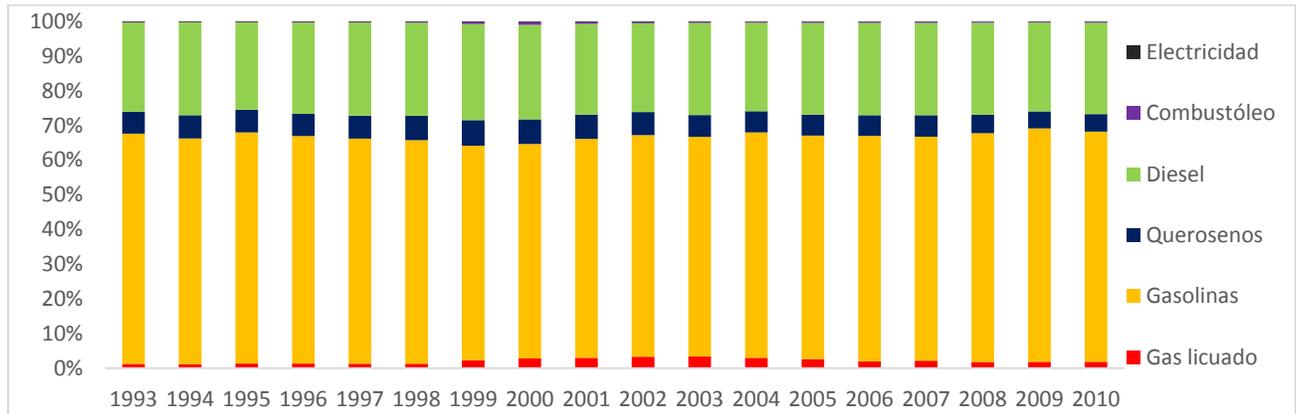


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

El grafico anterior ilustra el comportamiento del consumo final de energía en el tiempo. Como puede observarse, la mayor parte de la energía se consume por el sector transporte y por el industrial, ambos con una expansión en su nivel de consumo en relación a su periodo inicial, mientras que el sector agropecuario y el residencial, comercial y público son relativamente constantes en el tiempo.

En cuanto a la dependencia energética, la composición sectorial del consumo de energía también puede desagregarse en relación al consumo de las energías primarias y secundarias. La desagregación por tipo de energía también permite realizar comparaciones para identificar si existe algún patrón de consumo o para estudiar las diferencias relacionando el consumo de energía con los métodos de producción y/o utilización en cada sector de la economía.

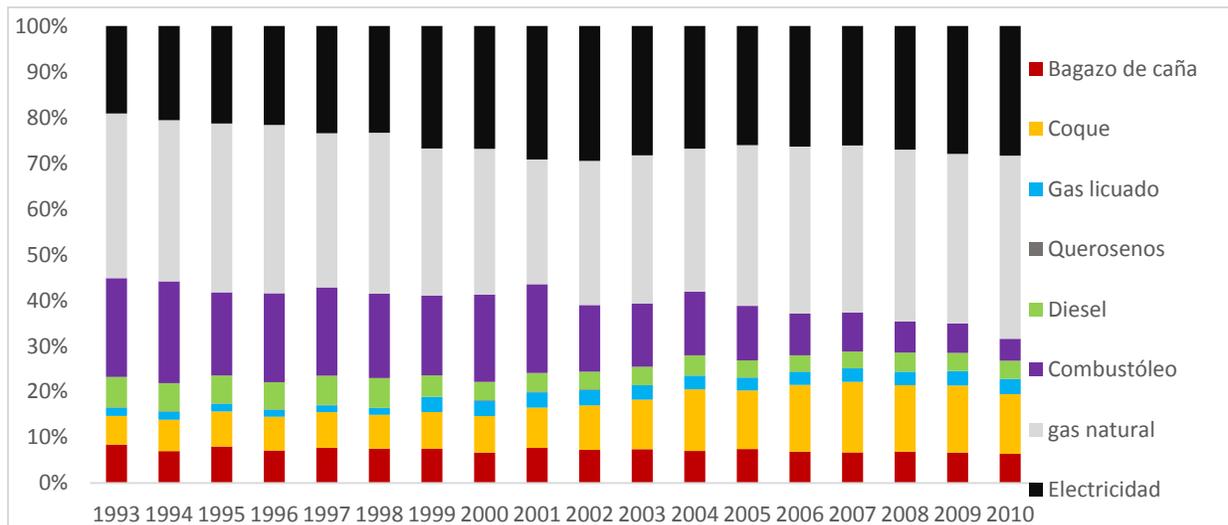
**GRAFICO 3.5 Distribución del consumo final de energía en el sector Transporte**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

El grafico 3.5 exhibe que en el sector transporte el consumo final de energía proviene en su totalidad de energías secundarias, principalmente de las gasolinas y del diésel, con una aportación promedio anual del 65% y del 26%, respectivamente. Cabe mencionar que la composición por tipo de energético es estable a lo largo del periodo de tiempo y que la electricidad es la única fuente de energía que no se obtiene únicamente de hidrocarburos.

**GRAFICO 3.6 Distribución del consumo final de energía en el sector Industrial<sup>10</sup>**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

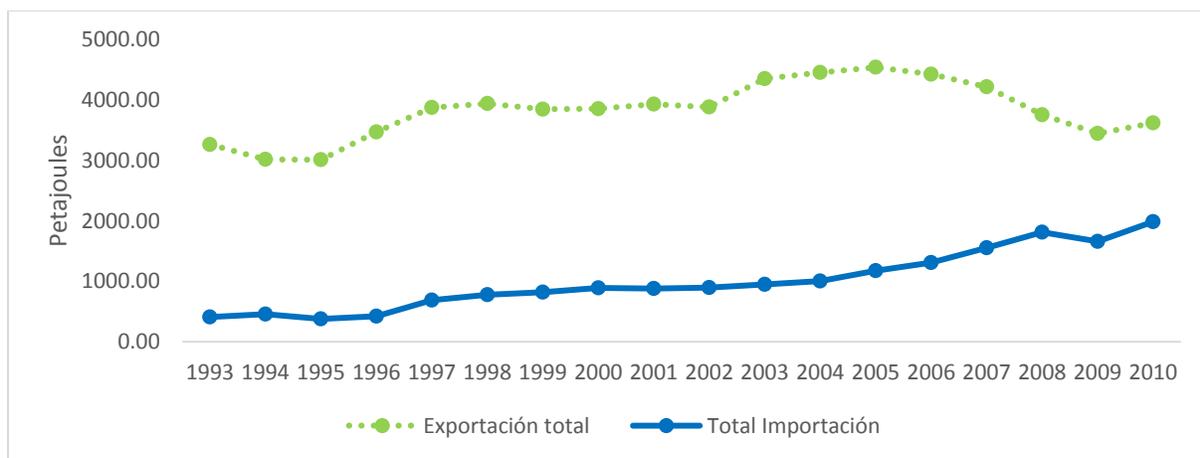
<sup>10</sup> Del 2005 en adelante, el gas natural se calculó como la diferencia del consumo total de energía final menos la suma de los demás energéticos.

La distribución del consumo de energía en el sector industrial se evidencia en el gráfico 3.6. En comparación con el sector transporte, la composición del consumo se encuentra más diversificada, pero aún predominan las energías secundarias sobre las primarias. El bagazo de caña es el único energético que se consume de las energías primarias, con una contribución aproximada anual de 7%. Aunque no se puede concluir que existe un comportamiento estable entre la contribución del consumo de los distintos energéticos, sí se puede afirmar que la contribución del coque, del gas natural y de la electricidad aumentaron con el paso del tiempo, con una tasa de crecimiento promedio anual de 7%, 3% y de 4%, respectivamente. El aumento en el consumo de estos energéticos es contundente con el aumento de su producción que se evidenció en el gráfico 3.3.

### 3.2.4 Exportaciones e importaciones de energía

El comercio con el resto del mundo es importante para los países porque permite vender el excedente de lo que se produce, y comprar lo que se demanda pero la producción nacional no satisface. Esto no es una excepción para el sector energético, cada sector económico utiliza distintos energéticos en sus procesos productivos o en el ofrecimiento de servicios. En el apartado anterior se observó que en México se produce más energía primaria pero se consumen más energías secundarias, de tal modo que es necesario un intercambio de energéticos para satisfacer la demanda de los sectores económicos.

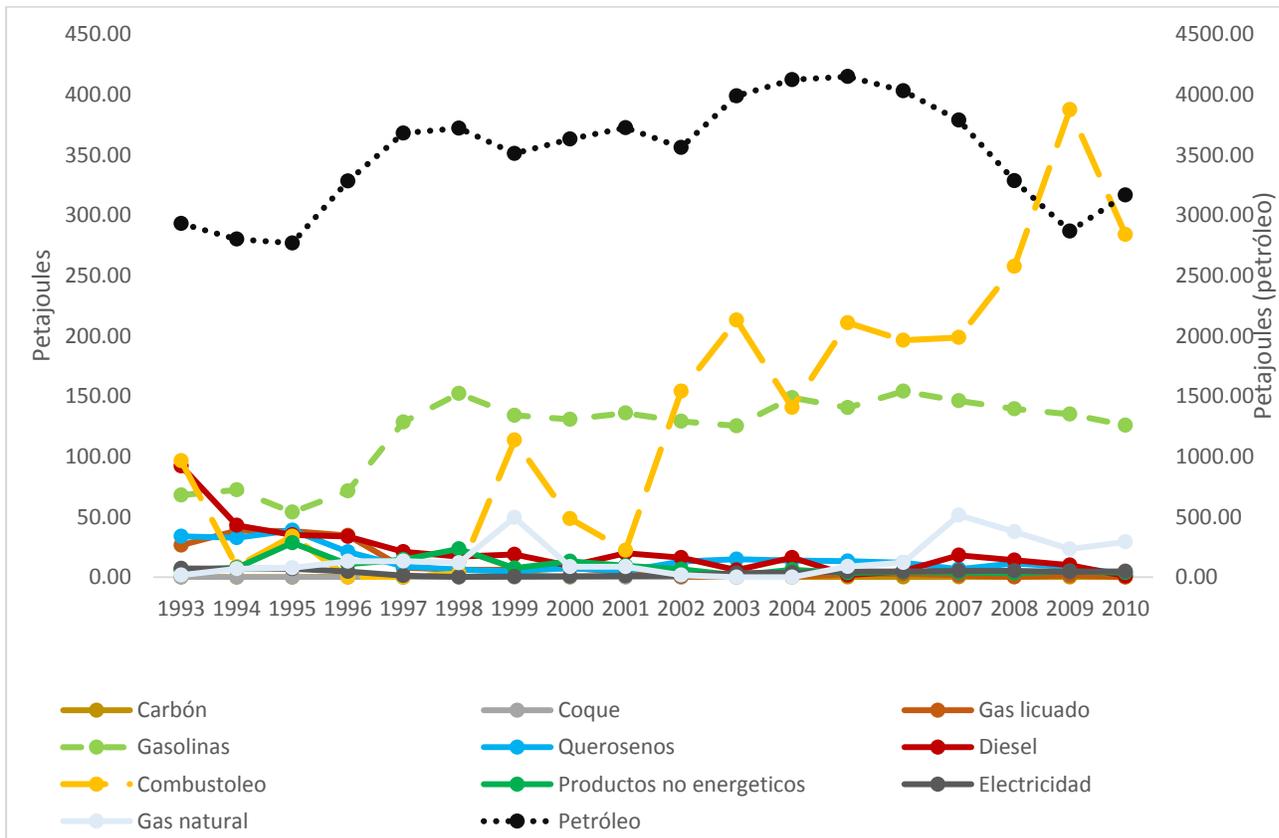
**GRAFICO 3.7 Exportaciones e importaciones de energía**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En términos agregados, el gráfico 3.7 evidencia que México vende más energía de la que compra, pero si se analizan las tasas de crecimiento, las exportaciones de energía se han mantenido constantes con un valor promedio anual de 1%, mientras que el valor de las importaciones ha aumentado en promedio 11% cada año.

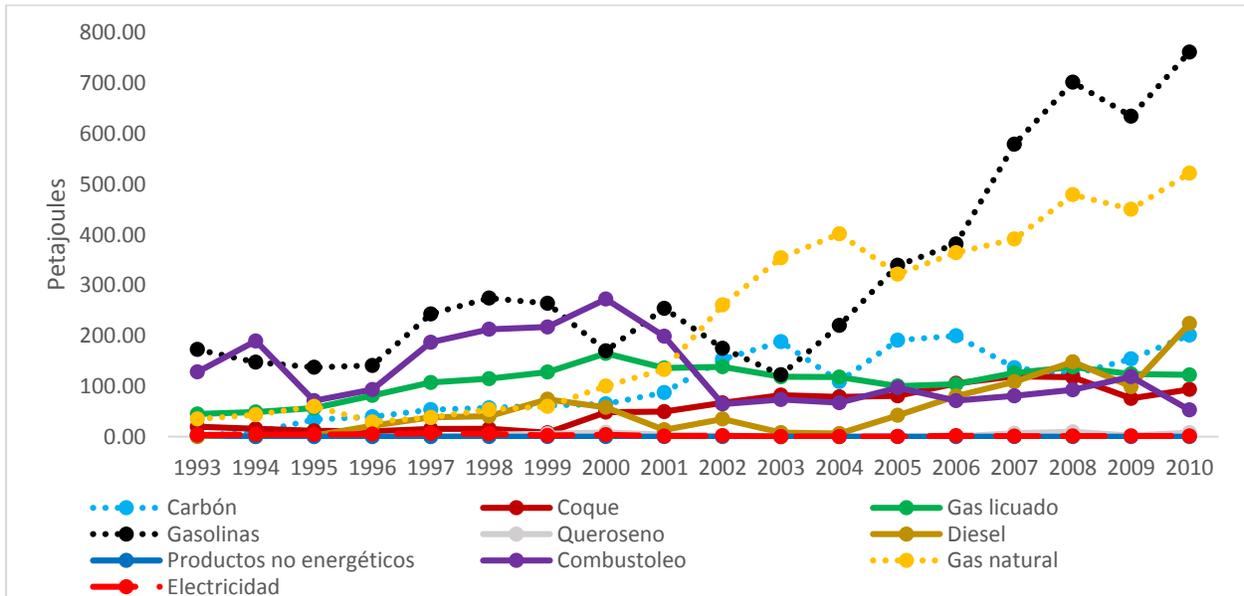
**GRAFICO 3.8 Exportaciones de energías primarias y secundarias**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En el gráfico 3.8 se puede observar que las exportaciones dependen casi en su totalidad del petróleo, el cual tiene una contribución promedio anual del 91%. Si se analiza conjuntamente el gráfico 3.9, tanto las exportaciones como las importaciones dependen casi en su totalidad de los hidrocarburos, las exportaciones están constituidas principalmente por energías primarias, y las importaciones por energías secundarias. En concreto, las energías secundarias representan un promedio anual de 80% de las importaciones de energía y solamente el gas natural corresponde a energías primarias. Es decir, en México se exportan hidrocarburos en su estado natural y se compran ya transformados con un valor agregado.

**GRAFICO 3.9 Importaciones de energías primarias y secundarias**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

### 3.2.5 Precios

Los precios del sector energético se miden en relación al tipo de fuente de energía y su composición química: pesos por litro, si se trata de un líquido; pesos por kilogramo si es un sólido o gas; y pesos por kilowatt, en el caso de la energía eléctrica.

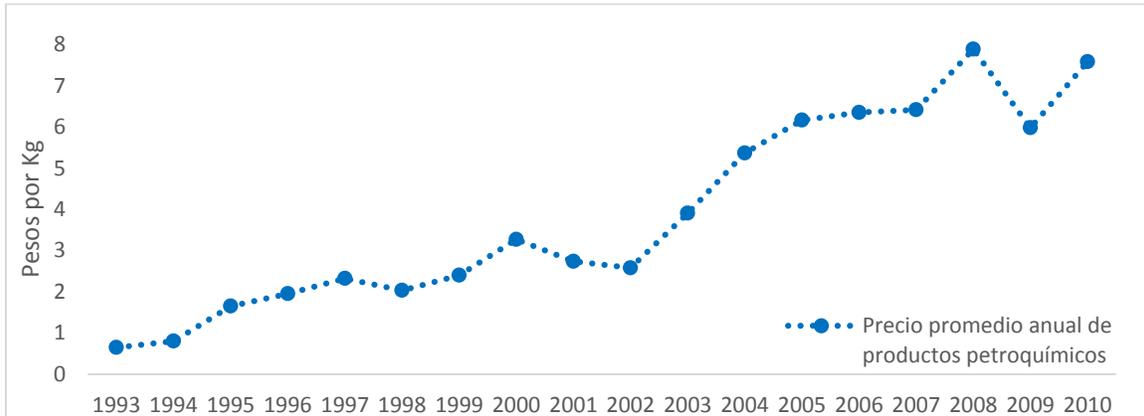
El comportamiento del precio en los energéticos es importante para los países debido a su utilización en cualquier proceso productivo, ya sea que se utilicen energías directamente como materia prima (gas, carbón, leña, etc.), o indirectamente en el transporte de mercancías o en el uso de energía eléctrica.

El aumento en el precio de la energía representa un incremento en los costos de los sectores económicos, lo que afecta la dinámica de precios de otros bienes y servicios. Un aumento en el precio de los energéticos eleva directamente los costos de producción en el sector industrial; el costo de vida en el sector residencia; y disminuye el presupuesto gubernamental en el sector público.

El gráfico 3.10 muestra el precio promedio de los productos que se derivan del petróleo y del gas natural. Estos productos se caracterizan por ser consumidos como materia prima en las

industrias químicas y petroquímicas, aunque su aplicación se extiende a la industria alimentos, pegamentos y adhesivos, pintura, propelentes, solventes, etcétera. El precio de este tipo de productos ha aumentado aproximadamente 19% anual en el periodo de tiempo señalado.

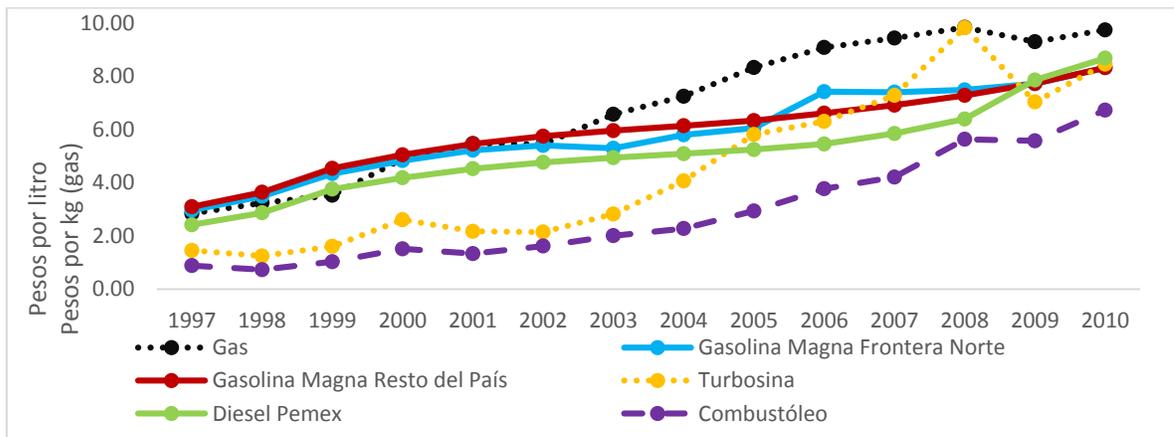
**GRAFICO 3.10 Precio promedio anual de productos petroquímicos**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Como se vio anteriormente, el gas natural, las gasolinas y la electricidad son las formas de energía que predominan en el consumo del país. En el gráfico 3.11 se expone el comportamiento del precio del gas natural y de productos derivados del petróleo. Aunque el precio varía dependiendo del tipo de energético que se trate, todos exhiben una tendencia positiva en el largo plazo.

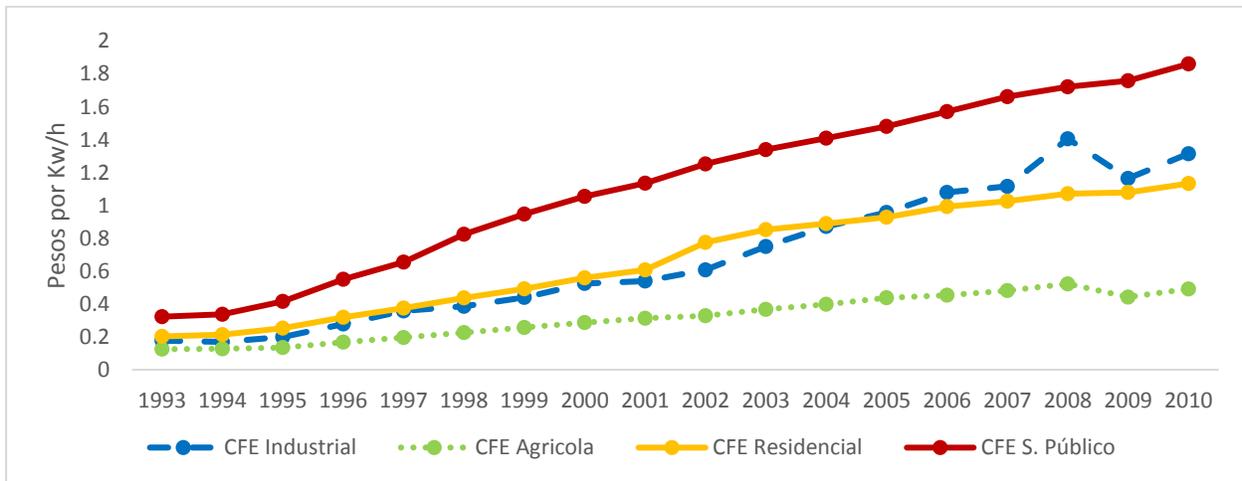
**GRAFICO 3.11 Precio promedio anual de hidrocarburos**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En el caso de la electricidad, el precio se mide de acuerdo al sector de destino y varía un poco dependiendo del organismo de distribución (CFE o Luz y Fuerza del Centro). En el gráfico 3.12 se muestra el promedio anual del precio de la electricidad de la CFE que se distribuye al sector agrícola, al industrial, al público y al residencial. Los precios de Luz y Fuerza del Centro no se exponen debido a su similitud con los precios de la CFE en los sectores mencionados.

**GRAFICO 3.12 Precio promedio anual de la electricidad<sup>11</sup>**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática y de la Secretaría de Energía.

Como se observa en el gráfico, el precio de la electricidad tiene una tendencia a aumentar con el paso del tiempo. La tarifa que se cobra al sector público es la más alta, y la del agrícola la más baja. El sector industrial y el residencial presentan precios similares, siendo más altos en el residencial hasta el 2004, y más altos en el industrial los años posteriores. En el sector agrícola el precio aumenta en promedio anual 9%, en el residencial y en el público 11%, y en el industrial 13%.

### 3.3 Electricidad

#### 3.3.1 Generación de electricidad

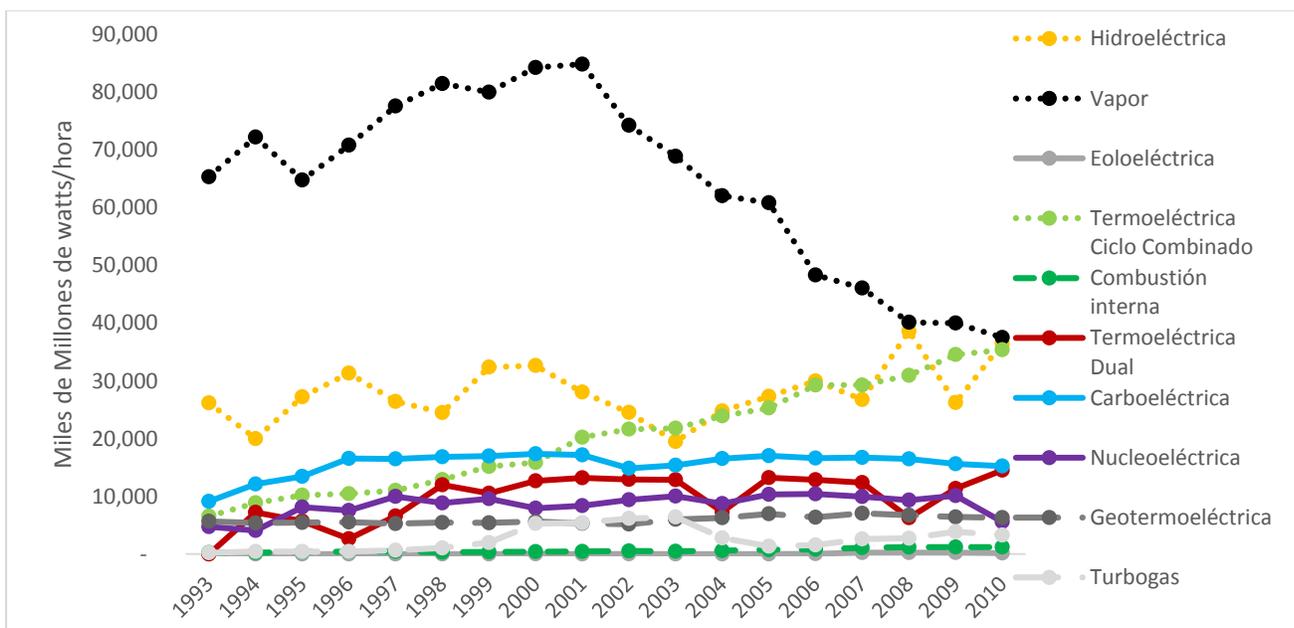
Se considera como energía eléctrica aquella que se transmite por medio de electrones en movimiento. Su unidad de medida es el watt (W), que representa la potencia eléctrica que se produce por una tensión eléctrica de un voltio y una corriente eléctrica de un ampere. Para medir

<sup>11</sup>A partir del año 2002, la información se toma del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía.

la generación de electricidad se utilizan los kilowatts/hora (kWh) <sup>12</sup>, que hace referencia a los watts que se generan en una hora.

La generación de energía eléctrica se clasifica de acuerdo a su tipo de planta de producción y puede ser hidroeléctrica, si su funcionamiento depende del movimiento de turbinas hidráulicas para mover generadores eléctricos; termoeléctrica, si se utiliza algún tipo de combustión para producir vapor agua; y eoloeléctrica, cuando se usan hélices y un alternador para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Las plantas termoeléctricas también se subdividen en otras dependiendo de cómo se produce el vapor de agua (con hidrocarburos, con gas, con fisión nuclear de materiales radiactivos, etc.).

**GRAFICO 3.13** Generación de electricidad por tipo de planta



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En el gráfico 3.13 se señala la generación de energía eléctrica por tipo de planta de producción. La energía eólica representa en promedio anual menos del 1% de la generación total de energía eléctrica, la hidroeléctrica 18% y la termoeléctrica 81%. Aunque la generación por vapor es la que más aporta al total en todos los años, a partir del 2001 se exhibe una tendencia negativa y constante en su generación, en el primer periodo constituye el 54% de la generación total, y en el

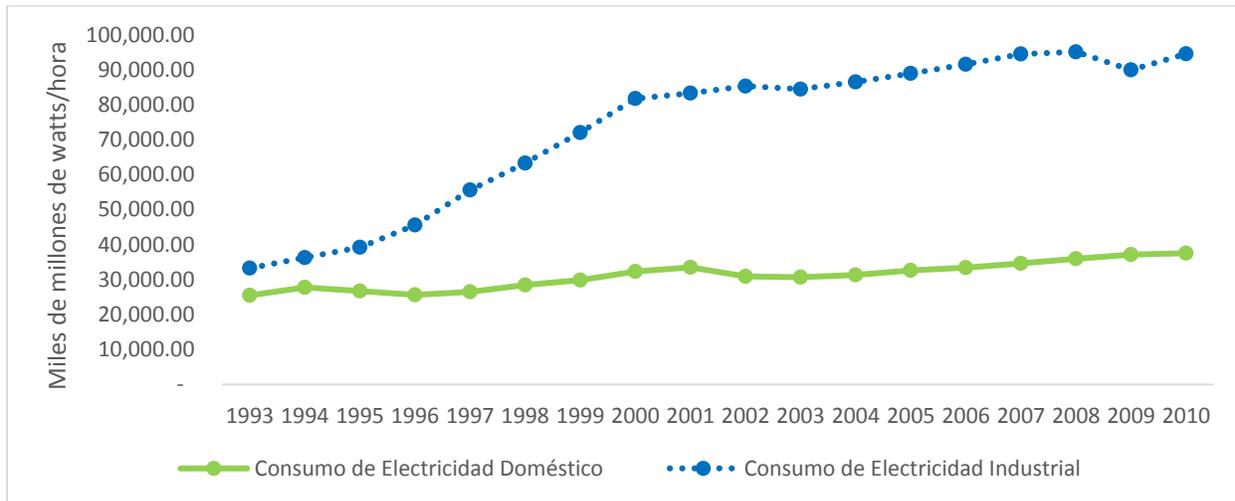
<sup>12</sup> Un kilowatt equivale a 1000 watts.

último 24%. Por otra parte, la termoeléctrica del ciclo combinado presenta un crecimiento constante a lo largo del tiempo y pasa de un 5% a un 23% en la aportación del total.

### 3.3.2 Consumo de energía eléctrica

El consumo de electricidad se mide de acuerdo al lugar de destino final, puede ser de tipo doméstico o industrial. La mayoría de la energía eléctrica en México se consume en la industria, la cual represente aproximadamente un 25% anual de la energía total en este sector (véase gráfico 3.6). El gráfico 3.14 ilustra el argumento anterior y señala que, mientras el consumo de electricidad en los hogares ha permanecido constante en el tiempo, el consumo industrial ha tendido a aumentar a una tasa promedio anual de 7%.

**GRAFICO 3.14 Consumo de energía eléctrica por destino final**

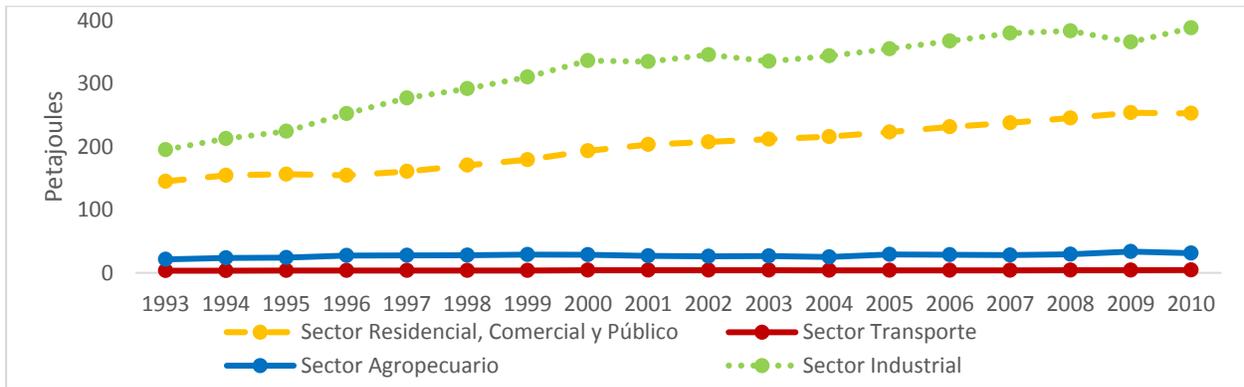


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

La electricidad, al tratarse de una de las manifestaciones de la energía, también puede medirse utilizando Joules. En el caso del consumo de electricidad por sector, la electricidad se relaciona a la potencia que produce en una unidad de tiempo y por ello resulta más conveniente utilizar Joules en lugar de Watts. El gráfico 3.15 presenta el consumo de electricidad del sector agropecuario, del industrial, del transporte, y del residencial, comercial y público. Aunque en el gráfico 3.4 se mostró que el sector transporte es el que mayor cantidad de energía consume, el sector industrial presenta el mayor consumo de energía eléctrica. La contribución promedio anual al total del consumo de electricidad del sector agropecuario, del transporte, del industrial y del residencial, comercial y

público es del 1%, 5%, 57% y 37%, respectivamente. Es decir, más de la mitad de la electricidad se consume por el sector industrial.

**GRAFICO 3.15 Consumo de energía eléctrica por sector**



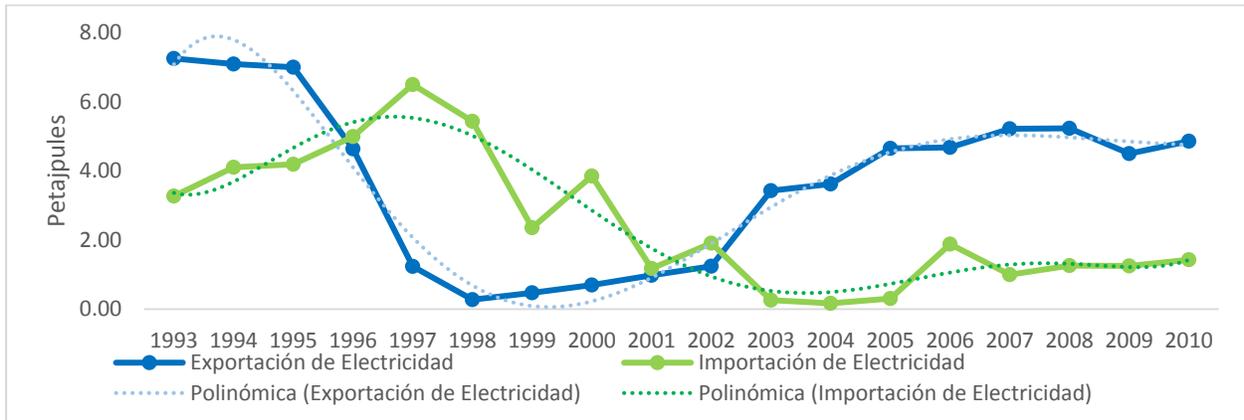
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

### 3.3.3 Exportaciones e importaciones de electricidad

La electricidad también se comercia en el mercado mundial pero por razones diferentes al resto de los hidrocarburos. Algunas razones por la que los países exportan e importan electricidad pueden ser la escasez de recursos naturales para su generación, o por los costos de oportunidad de transportar la energía en su composición eléctrica en comparación de otro tipo de energético.

En el gráfico 3.15 se muestran las exportaciones y las importaciones de energía eléctrica medidas en Petajoules. Ambas series presentan un comportamiento cíclico y opuesto en sus fluctuaciones, cuando las exportaciones aumentan las importaciones disminuye, y lo mismo en el caso contrario. Para tener una magnitud del valor del comercio exterior de electricidad, si se compara con el consumo de electricidad del grafico 3.14, la electricidad que se consume en el país y proviene del extranjero representa en promedio menos del 1% anual del consumo total de electricidad. En el caso de las exportaciones, si se compara la suma de toda la generación de electricidad del gráfico 3.13, la energía eléctrica que se genera en el país pero se consume en el exterior representa en promedio anual 1% del total. Esta baja contribución es lógica por lo mencionado en el marco regulatorio del sector eléctrico y el condicionamiento en la participación de particulares privados.

**GRAFICO 3.16 Exportaciones e Importaciones de electricidad**

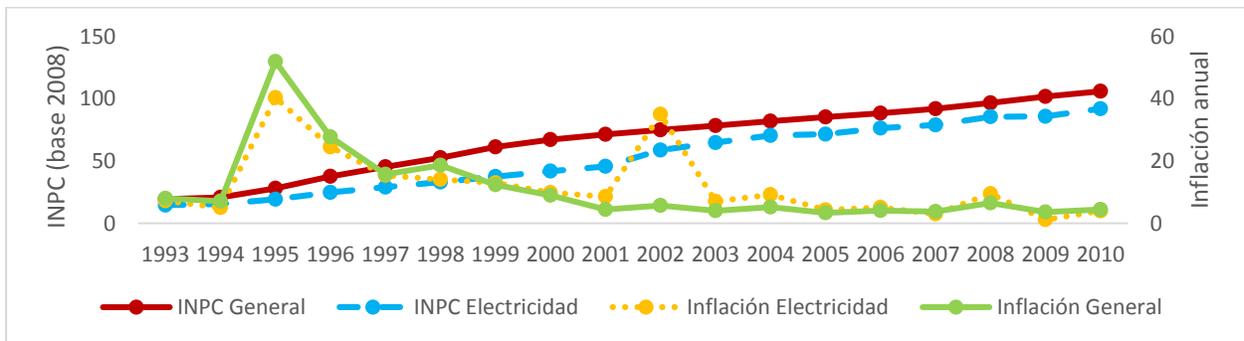


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

### 3.3.4 Precios e inflación de la electricidad

Se utiliza el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) Para medir la variación de los precios de una canasta fija de bienes y servicios representativa de los hogares (Banco de México, n.d.). Aunque en el Gráfico 3.12 se presentó la evolución del precio promedio en la electricidad, el gráfico 3.17 sintetiza ese comportamiento y presenta una comparación con el nivel de precios general.

**GRAFICO 3.17 Inflación e Índice Nacional de Precios al Consumidor<sup>13</sup> (base 2008)**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En términos generales, el nivel de precios general como el de la electricidad han tendido a aumentar a lo largo del tiempo pero a tasas diferentes. Por otra parte, con el análisis de la inflación

<sup>13</sup> Valores representan el promedio anual.

se reconoce el efecto de la crisis de 1994 en el aumento del precio. Si bien ambas series mantienen un comportamiento similar en el periodo de tiempo, la electricidad es más volátil. De 1998 en adelante, la tasa de inflación de la electricidad es superior a la inflación general, con un aumento pronunciado en el año 2002.

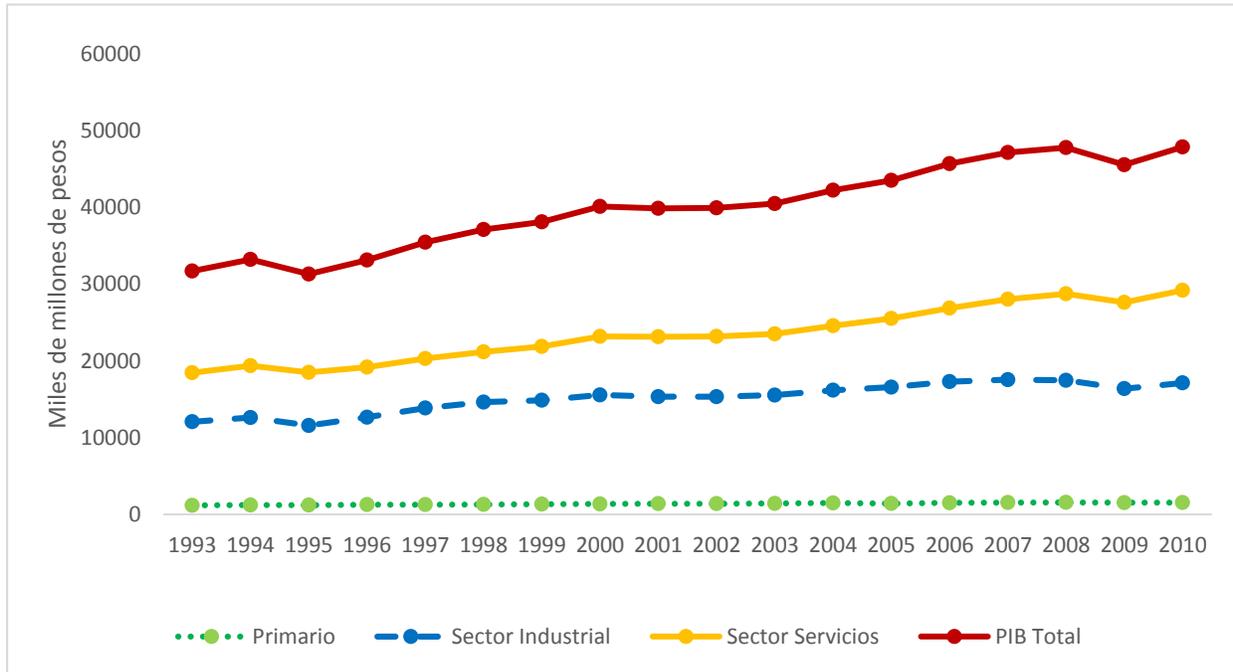
### **3.4 Crecimiento económico y consumo de electricidad en México**

#### **3.4.1 PIB, crecimiento y composición por sectores**

El Producto Interno Bruto es una variable macroeconómica que se utiliza para medir el desempeño económico en distintos periodos de tiempo y su unidad de medida corresponde al valor de la producción total expresado en pesos. De acuerdo al tipo de actividades, el PIB se subdivide en tres sectores económicos: el primario, el secundario y el terciario.

Los sectores económicos se diferencian entre ellos por el valor agregado que aportan en los bienes que producen. La producción del sector primario se relaciona con la utilización de materias primas para la elaboración de productos no elaborados (los que no requieren alguna transformación industrial). Este sector está compuesto por el total de las actividades de agricultura, de la cría y explotación de animales, por el aprovechamiento forestal, por la pesca y por la caza. El sector secundario, también conocido como sector industrial, se caracteriza por el alto valor agregado que éste genera en su producción y está constituido por actividades como la minería, la generación y transmisión de energía eléctrica, suministro del agua y de gas por ductos, la construcción y las industrias manufactureras. Por último, el sector terciario comúnmente es conocido como sector servicios porque está formado por las actividades que ofrecen servicios en lugar de una producción tangible de bienes e incluye los sectores del comercio, transporte, información, servicios financieros, servicios inmobiliarios, servicios de salud, servicios de esparcimiento, servicios de alojamiento y otras actividades gubernamentales.

**GRAFICO 3.18 Producto Interno Bruto anual por actividad económica  
(precios del 2008)**

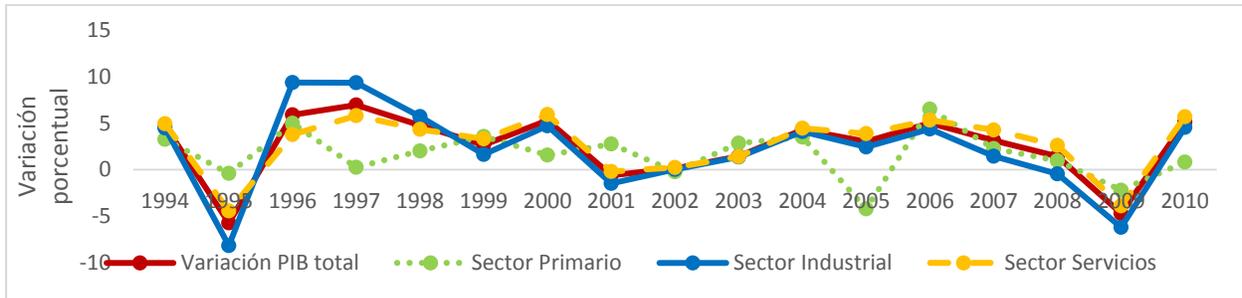


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Debido a la diferencia de precios, para poder comparar el PIB entre periodos de tiempo es necesario establecer un año base y deflactar el nivel de producto de otros años a ese nivel de precios. En el gráfico 3.18 se ilustra el comportamiento del PIB total y por sectores utilizando el 2008 como año base. Lo que se observa es que el PIB tiene una tendencia positiva en el tiempo, al igual que las actividades terciarias y secundarias. Por otra parte, el valor de las actividades primarias es constante con poca aportación al total.

Otra medida importante para realizar comparaciones en distintos periodos de tiempo del PIB es su variación anual. La variación anual permite comparar el rendimiento del PIB en términos de crecimiento porcentual con respecto al año anterior. El objetivo de los países es mantener tasas de crecimiento superiores al 3% o por lo menos que cubran la inflación de precios. En el grafico 3.19 se expone la variación anual del PIB total y por sectores económicos.

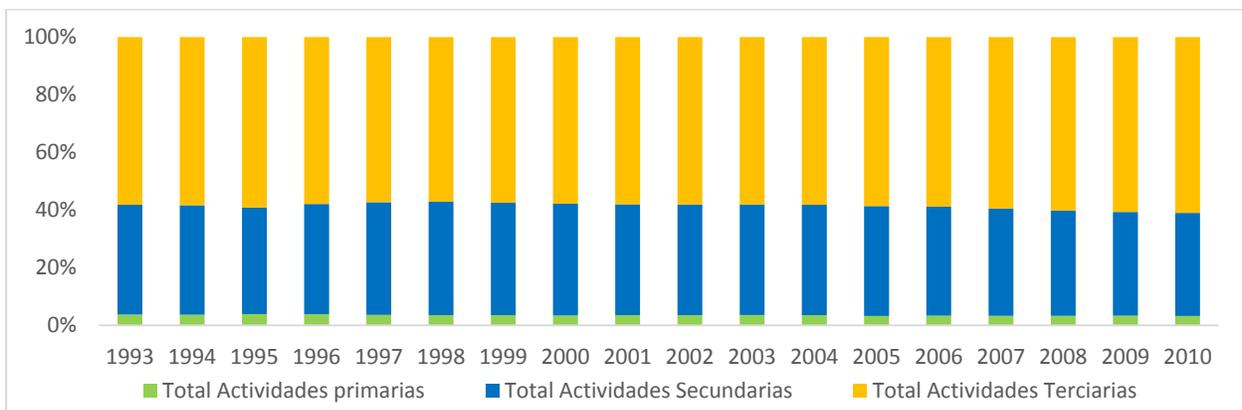
**GRAFICO 3.19 Variación anual del producto por actividad económica**  
(precios 2008)



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En el grafico anterior se expone la variación anual del PIB total y por sectores económicos. En general, se observa que hay tres periodos donde el crecimiento del PIB total fue negativo que se relacionan directamente con episodios donde hubo crisis. En 1994 fue la crisis conocida como el “efecto tequila” a consecuencia de la falta de reservas internacionales y causando la depreciación del tipo de cambio. En el 2001 fue la crisis “punto.com”, que tuvo su origen en la especulación de empresas vinculadas al internet. Finalmente, la crisis del 2008 o “inmobiliaria” fue la causada por la especulación del sector inmobiliario en los Estados Unidos, por desconfianza crediticia y por las “hipotecas basura”. La variación del sector industrial y del sector servicios obedece el mismo comportamiento de la variación del PIB total, mientras que la del sector primario se mantiene en valores positivos en la mayoría de los periodos, aunque su contribución en el total es relativamente baja.

**GRAFICO 3.20 Composición del PIB por actividad económica**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

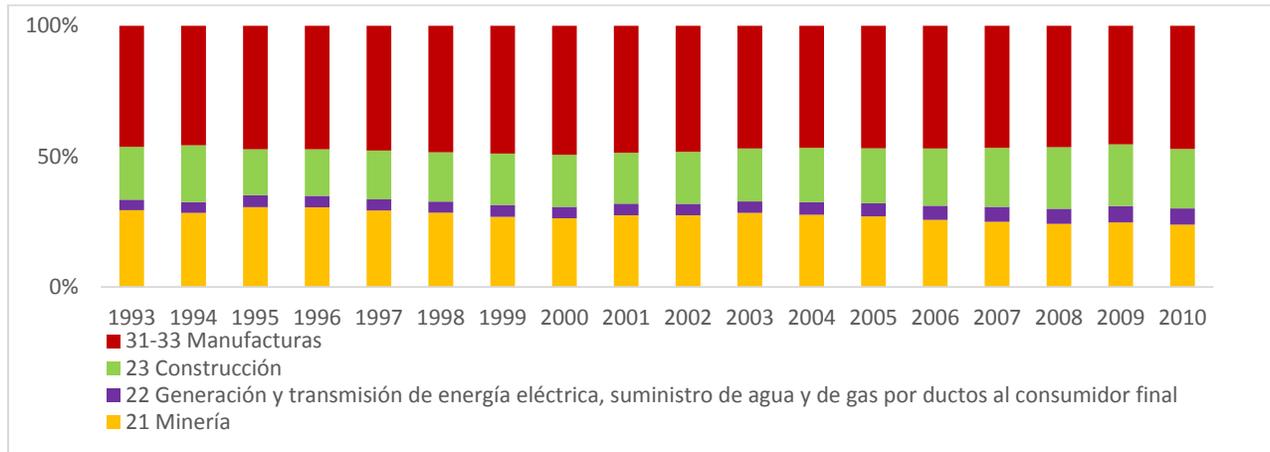
El cálculo del PIB también puede representarse como un porcentaje de los sectores económicos que lo conforman. De esta manera se puede concluir en qué tipo de actividad el país se encuentra especializado. En general, el producto de los países desarrollados depende casi en su totalidad del sector servicios; el de los países en desarrollo del sector industrial y del sector servicios, y el de los países de bajo desarrollo del sector primario. En el gráfico 3.20 se muestra la composición del PIB en México. Como puede observarse, la contribución por sectores permanece constante en el tiempo, sin ningún cambio significativo y depende del sector servicios y del sector industrial con aportaciones anuales aproximadas del 59% y 38%, respectivamente.

### **3.4.2 Sector industrial y consumo de electricidad**

En este apartado se analiza el sector industrial de manera individual debido a la relación entre el consumo de electricidad y la industria que se expuso en el gráfico 3.14 y 3.15. También, en el apartado anterior se mostró que el sector industrial tiene una aportación significativa al PIB, de modo que el objetivo es intentar mostrar que el consumo de electricidad y el sector industrial guardan una relación con el crecimiento económico.

La producción del sector industrial se mide de acuerdo al tipo de actividades que se realicen, pudiendo éstas ser de minería, de construcción, de manufacturas, y de generación y transmisión de energía eléctrica, suministro de agua y gas al consumidor final. Del mismo modo, las manufacturas a su vez se dividen en distintas ramas industriales dependiendo del producto que se fabrique. En el gráfico 3.20 se aprecia la distribución del sector industrial por los tipos de actividades. En general, las manufacturas y la minería son las que más aportan al producto del sector industrial, con una contribución promedio anual de 47% y 27%, respectivamente. Por otra parte, aunque la contribución promedio de la construcción es de 21% anual, a diferencia de la minería, su tendencia en la contribución tiende a aumentar en el tiempo.

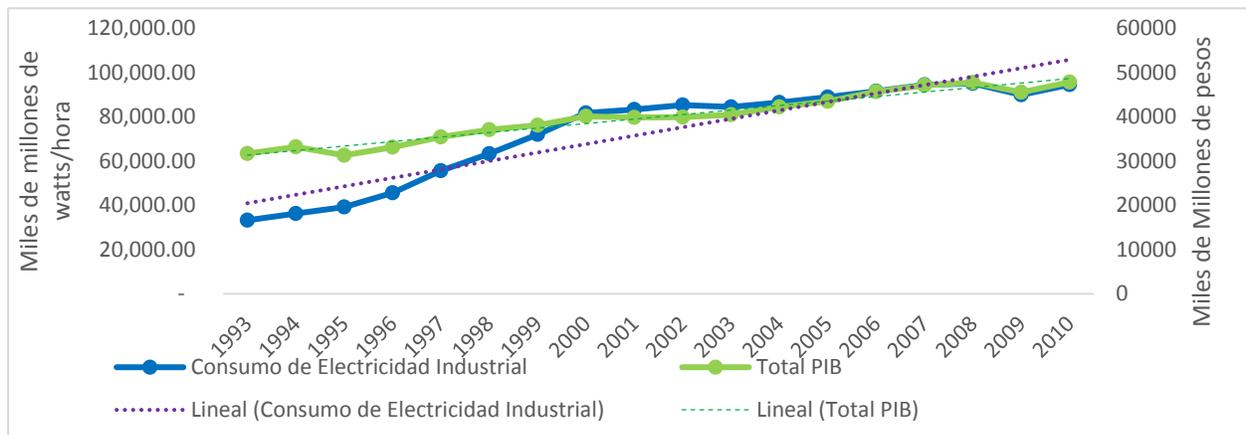
**GRAFICO 3.21 Distribución del Sector Industrial por tipo de actividad**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Asumir que el crecimiento del PIB y del sector industrial se mueven conjuntamente en el tiempo por el hecho de que el sector industrial es uno de los componentes del PIB es incorrecto por la diferencia en contribución y en crecimiento entre los sectores económicos. Sin embargo, esta relación puede sugerirse a partir del análisis que se presentó de las variaciones anuales del producto. Aunque nada se puede afirmar aún sobre la causalidad de estas series, el análisis exploratorio de su gráfica sugiere que algún tipo de relación debe existir entre ellas. Por otra parte, para entender la relación entre crecimiento económico y consumo de electricidad se presenta la gráfica 3.22, que mide al valor del PIB en miles de millones de pesos en el eje vertical derecho y el consumo de electricidad industrial en miles de millones de watts/hora en el izquierdo.

**GRAFICO 3.22 Consumo de electricidad industrial y crecimiento económico**



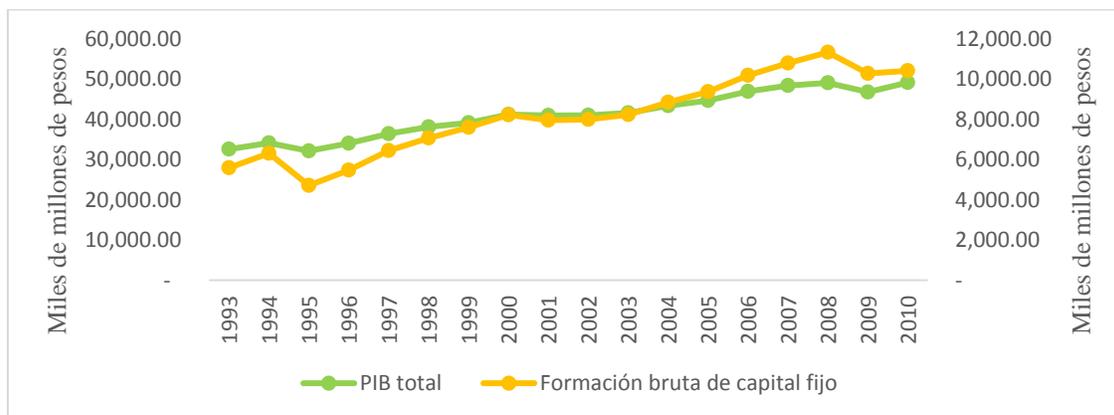
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Como puede observarse, el gráfico anterior también parece mostrar que el consumo de electricidad industrial y el crecimiento económico se comportan de manera similar en el tiempo manteniendo una tendencia. También se puede apreciar que a partir del 2000 se hace más notoria la correlación entre las series. Este hecho podría sugerir que existe una relación causal entre la política energética del país y el crecimiento económico.

### 3.4.3 Dependencia del PIB a otros factores

Además del consumo de energía, los modelos de crecimiento han reconocido la dependencia que mantiene la producción con otro tipo de variables que ayudan a explicar su comportamiento a través del tiempo, como la formación de capital, el trabajo, la tasa de interés e indicadores sobre la actividad económica en el resto del mundo. En México, algunos trabajos han estudiado el crecimiento económico utilizando la actividad económica de Estados Unidos como una variable representativa de los efectos de la dinámica económica en el resto del mundo (Caballero & Galindo, 2007, p. 131). A continuación se muestra la relación del producto interno bruto mexicano con la formación bruta de capital fijo, con la población ocupada, con la tasa de rendimiento en CETES, y con la actividad económica de Estados Unidos medida a través de su PIB y de su índice de producción industrial.

**GRAFICO 3.23 Relación PIB – Formación de capital**

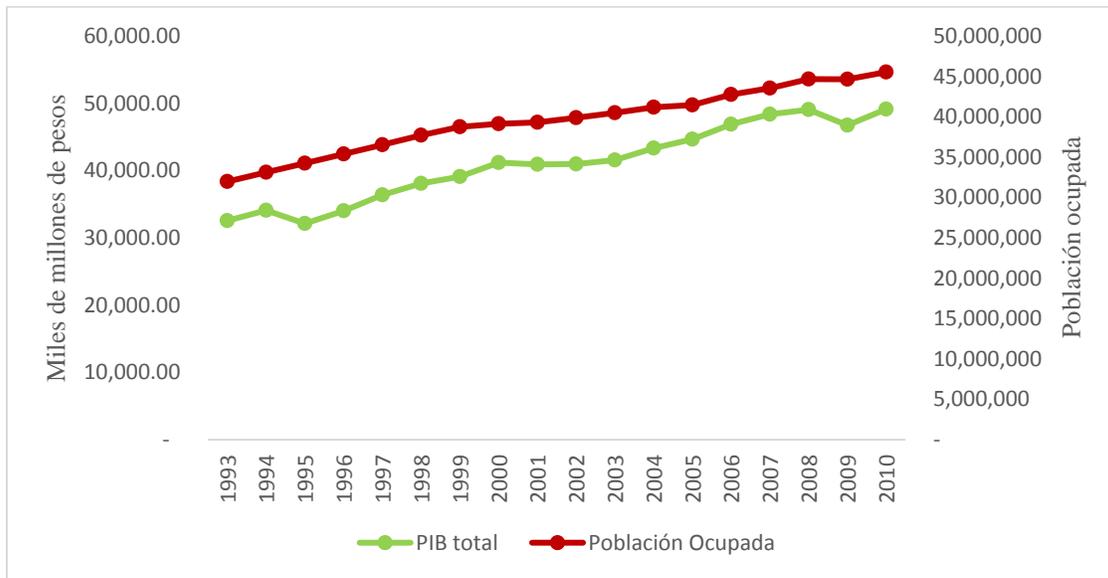


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

La formación bruta de capital fijo se refiere al incremento de los activos fijos y representa el valor que se destina a los bienes para la producción de otros bienes o para facilitar algún servicio. En el gráfico anterior se muestra que la formación de capital y el producto interno bruto de México mantienen una relación positiva a lo largo del periodo de tiempo analizado.

Por otra parte, la relación entre el trabajo y el producto interno bruto de México se midió a través de la población ocupada, la cual está conformada por la parte de la población de 15 años o más que ejerce algún trabajo y recibe una remuneración por ello. El gráfico 3.24 ilustra que ambas series siguen una tendencia positiva en el tiempo con periodos de cambio similares.

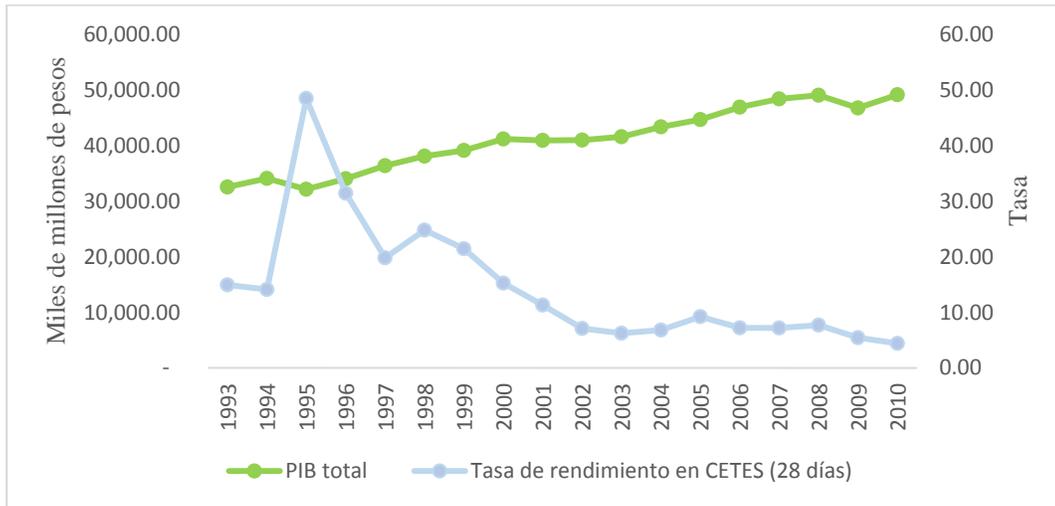
**GRAFICO 3.24 Relación PIB – Población ocupada**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En cuanto a la tasa de interés, comúnmente se utiliza la tasa de rendimiento en CETES como un indicador de la salud del sistema financiero y mide el desempeño de la inversión de los títulos de crédito emitidos por el Gobierno Federal en el mercado de dinero para fines de financiamiento y control de circulante. El gráfico siguiente exhibe la existencia de una relación negativa entre el producto interno bruto y la tasa de rendimiento en CETES.

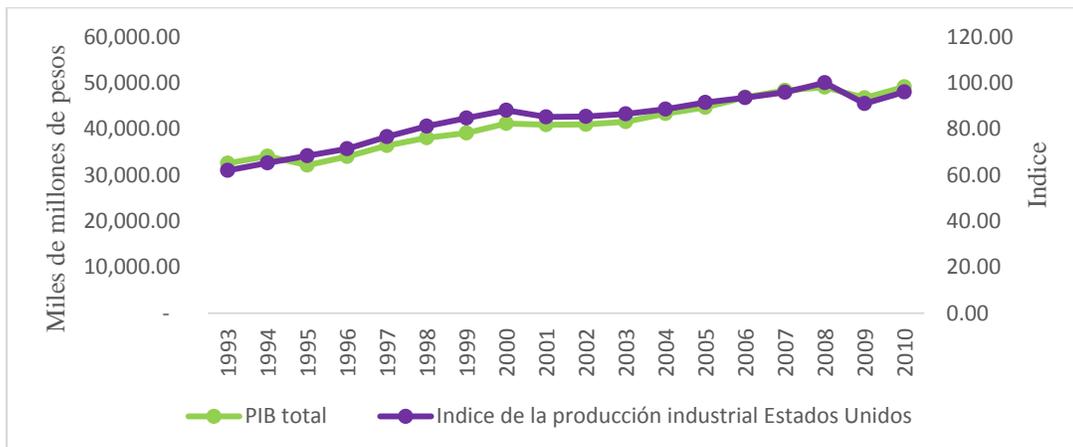
**GRAFICO 3.25 Relación PIB – Tasa de rendimiento en CETES (28 días)**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Finalmente, se presentan dos alternativas para representar la actividad económica de Estados Unidos. La primera se refiere al índice de producción industrial de Estados Unidos, que es un indicador sobre la evolución productiva del valor añadido a costos de los factores del sector industrial en este país. En el gráfico 3.26 se puede apreciar la evidente relación que el producto interno bruto de México guarda con este índice, la variación y la tendencia de ambas series persiste en todo el periodo de tiempo.

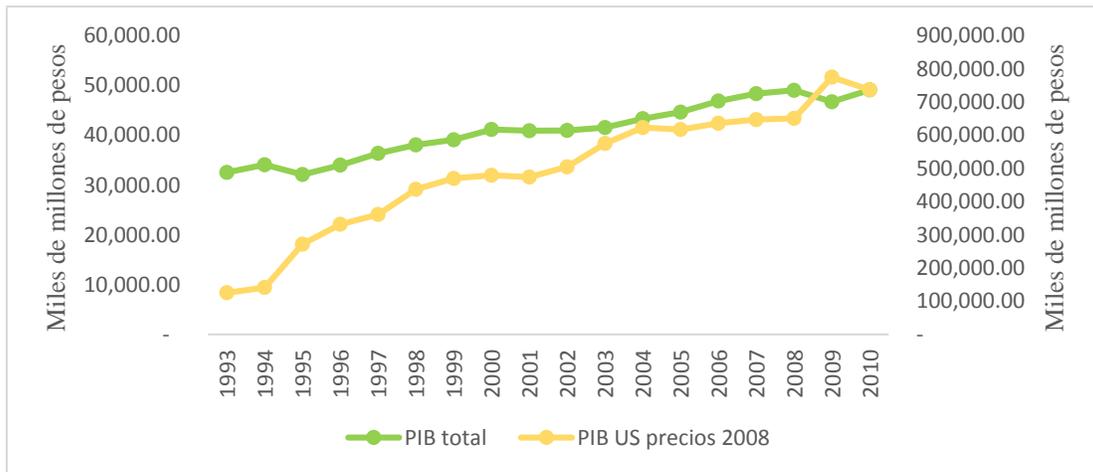
**GRAFICO 3.26 Relación PIB – Índice de producción industrial de Estados Unidos**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En cuanto a la segunda alternativa, el gráfico 3.27 expone la relación que hay entre el producto interno bruto de Estados Unidos y el de México. Como puede observarse, la actividad económica de ambos países se ha fortalecido con el paso del tiempo. Una posible explicación es la formalización del Tratado de Libre Comercio de América del Norte que entró el 1 de enero de 1994. A partir de este periodo se puede apreciar el vínculo que la producción de ambas economías ha desarrollado.

**GRAFICO 3.27 Relación PIB – Producción de Estados Unidos**



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática y del *Bureau of Economic Analysis*.

## **CAPITULO IV. MARCO METODOLOGICO**

### **Introducción**

La relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía es un tema dentro de la corriente de la economía de la energía que se ha distinguido por utilizar diferentes enfoques para determinar la causalidad entre ambas variables. Aunque la selección de la metodología depende principalmente de los objetivos e hipótesis que el investigador plantee, estos trabajos generalmente utilizan econometría de series de tiempo debido a las herramientas estadísticas que esta alternativa ofrece. El presente capítulo tiene por objetivo describir los métodos econométricos que se utilizarán para responder las preguntas de investigación.

#### 4.1. Modelos de Vectores Autorregresivos (VAR)

Los modelos VAR surgieron del interés por entender la macroeconomía a través de un análisis aplicado y con la característica de intentar organizar de forma estructural la correlación entre las variables relevantes. Esta metodología se ha utilizado principalmente para la interpretación de fluctuaciones cíclicas de variables macroeconómicas y para identificar el efecto de políticas económicas (Amisano & Giannini, n.d., p. vii). La metodología VAR también tiene su aplicación para describir el comportamiento de un moderado número de variables de series de tiempo que generalmente se consideran *a priori* como endógenas, de manera que cada variable endógena se explica por sus valor rezagados y el de las otras variables endógenas en el modelo.

Un modelo VAR captura las interacciones dinámicas de un conjunto de  $K$  variables de serie de tiempo  $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt})$ . El modelo básico de orden  $p$  (VAR ( $p$ )) tiene la forma:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t \tag{4.1}$$

donde las  $A$ 's representan una matriz de coeficientes ( $K \times K$ ),  $u_t$  es un error no observable y  $p$  es el número de rezagos. Se asume que el comportamiento de los errores representa un ruido blanco con media cero y es invariante en el tiempo, es decir  $u_t$  son vectores estocásticos independientes con  $u_t \sim (0, \Sigma_u)$ .

Para su estudio y aplicación, un modelo VAR puede representarse de tres maneras diferentes: VAR en forma reducida, un VAR recursivo y un VAR estructural (SVAR). Un VAR en forma reducida comprende una ecuación por variable considerada en el sistema, en el lado derecho de la igualdad se incluye una constante y los términos rezagados de todas las variables en el sistema. Un VAR recursivo utiliza un método arbitrario para modelar correlaciones contemporáneas entre las variables. En cambio, los modelos SVAR estructurales utilizan teoría económica para asociar correlaciones con relaciones causales (Stock & Watson, 2001, p. 102).

Los modelos VAR y los Modelos de Vectores de Corrección de Error (VECM) consideran una serie de pasos para una correcta especificación. Primero se debe conocer la naturaleza estacionaria de las variables que se van a modelar. Si las variables son estacionarias se puede proseguir con la estimación de un modelo VAR. En cambio, si las variables son estacionarias en diferencia y tienen

una relación de cointegración, entonces se genera un problema de especificación en el modelo VAR, y debe proseguirse con un VECM.

Después de conocer el orden de integración de las series, se debe determinar el número de rezagos óptimo (y el rango de integración en el caso de los VECM). El problema con la determinación del número de rezagos es que si el orden  $p$  del modelo es muy bajo es posible que exista un problema de especificación, y si es muy alto puede tener un efecto en los errores de un procedimiento secuencial o se puede incurrir en un error estadístico del Tipo I. Para no desarrollar una serie de pruebas al escoger los rezagos óptimos en los modelos, se puede escoger este número por medio de una selección de procedimientos. Para ello se utilizan los criterios de información de Akaike (AIC), de Hannan-Quinn (HQ) y de Schwarz (SC):

$$AIC(n) = \log \sigma_u^2(n) + \frac{2}{T}n \quad (4.2)$$

$$HQ(n) = \log \sigma_u^2(n) + \frac{2 \log T}{T}n \quad (4.3)$$

$$SC(n) = \log \sigma_u^2(n) + \frac{\log T}{T}n \quad (4.4)$$

Al estimar los modelos incluyendo un diferente número de rezagos, lo que se busca es encontrar el valor que minimice los criterios de información.

Después de determinar el número de rezagos óptimo para el modelo, el siguiente paso es realizar una serie de pruebas de diagnóstico que determinen que el modelo no cuenta con problemas estadísticos que invaliden los resultados de estimación. Las pruebas de diagnóstico deben aplicarse sin importar el tipo de modelo que se adoptó de acuerdo al orden de integración de las series, es decir si se utilizó con un modelo VAR o un VECM.

Uno de los problemas que deben detectarse prioritariamente con las pruebas de diagnóstico es el de la autocorrelación en los residuos. La autocorrelación en los residuales sugiere que el modelo

es una pobre representación del proceso generado y que puede encontrarse alguna otra representación incluyendo variables, rezagos en el modelo, ampliar el periodo de tiempo o conseguir otros datos (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 125). Para la detección de autocorrelación existen diversas pruebas estadísticas, unas se enfocan en los residuales de alguna ecuación específica y otras en todo el vector de residuales. Se pueden utilizar pruebas estadísticas como la de Pormentau o la prueba LM de autocorrelación. La prueba de Pormentau es uno de los métodos estadístico que sirve para detectar el problema de autocorrelación, la hipótesis nula

$$H_0: E(u_t u'_{t-1}) = 0$$

$$i = 1, \dots, h > p \quad (4.5)$$

se contrasta con la hipótesis alternativa de que al menos una covarianza y una autocorrelación es diferente de cero. El estadístico de prueba se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Q_h = T \sum_{j=1}^h \text{tr}(\hat{C}'_j \hat{C}^{-1}_0 \hat{C}_j \hat{C}^{-1}_0)$$

$$(4.6)$$

donde  $\hat{C}_i = T^{-1} \sum_{t=i+1}^T \hat{u}_t \hat{u}'_{t-i}$ .

Otra de las pruebas de diagnóstico para la verificación de los procesos VAR y VECM se refiere a la normalidad de los residuos. La prueba Lomnicki-Jarque-Bera de no normalidad es un método que se basa en la curtosis y en la asimetría de la distribución. Al denotar  $u_t^s$  como los residuos estandarizados, las hipótesis de esta prueba son las siguientes:

$$H_0: E(u_t^s)^3 = 0 \text{ y } E(u_t^s)^4 = 3$$

$$H_1: E(u_t^s)^3 \neq 0 \text{ y } E(u_t^s)^4 \neq 3$$

que verifican si la curtosis y la asimetría son consistentes con una distribución normal estandarizada. Por otra parte, el estadístico de prueba se obtiene de:

$$LJB = \frac{T}{6} [T^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^s)^3]^2 + \frac{T}{24} [T^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^s)^4 - 3]^2$$

$$(4.7)$$

donde  $T^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^s)^3$  es una medida para la asimetría de la distribución, y  $T^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^s)^4$  mide la curtosis (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 45). La hipótesis nula es rechazada si el valor de LJB es muy grande, lo que también rechaza el hecho que la distribución tenga un comportamiento normal.

Si el modelo no ha presentado problemas de normalidad en los residuos o de autocorrelación, se debe verificar la estabilidad en el tiempo, como la prueba CUSUM que puede aplicarse a las ecuaciones individuales de modelos de vectores. La prueba CUSUM muestra un análisis gráfico con un intervalo crítico, si el valor de la serie se encuentra dentro de la región no crítica entonces se puede confiar en la estabilidad del modelo. Sin embargo, los intervalos críticos no tienen una justificación teórica para los modelos de vectores por lo que la aplicación de otras pruebas puede ser necesaria (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 159).. Para los modelos de vectores y con variables cointegradas, el análisis de estabilidad considera estadísticos recursivos y es importante porque permite determinar si el modelo se puede utilizar para pronosticar. A este análisis de estabilidad se le conoce como prueba de eigenvalores recursivos o de estabilidad matemática. En esta prueba se cumple la condición de estabilidad cuando las raíces que se obtienen de la matriz acompañante se encuentren dentro del círculo unitario en el gráfico de números reales e imaginarios.

Si el modelo que se especificó cumple con las pruebas de diagnóstico anteriores entonces puede utilizarse para el pronóstico y el análisis económico.

## 4.2 Estacionariedad

Para trabajar con modelos VAR, una de las condiciones necesarias que deben cumplir las variables  $y_t$  es que sean estacionarias. La condición de estacionariedad se cumple cuando un proceso estocástico es invariante en el tiempo  $t$  y en segundos momentos:

$$\begin{aligned} E(y_t) &= \mu_y \\ \forall t \in T \end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned} E(y_t - \mu_y)(y_{t-h} - \mu_y) &= \gamma_h \\ \forall t \in T \text{ y todos los enteros } h: t - h \in T \end{aligned} \tag{4.9}$$

La ecuación 4.1 se refiere a que todos los miembros de un proceso estocástico estacionario tienen media constante de modo que la serie de tiempo fluctúa alrededor de esa media y no presenta

una tendencia. De igual manera, la segunda ecuación sugiere que la varianza tampoco depende del tiempo sino solo de la distancia del tiempo  $h$  en dos momentos del proceso.

Aunque la estacionariedad puede parecer una propiedad poco común en las series de tiempo de variables económicas, es posible generar un comportamiento estacionario a partir de transformaciones logarítmicas y tasas de cambio, utilizando filtros o con procesos integrados (Lutkepohl & Kratzig, 2004, pp. 11-22).

### 4.3 Raíz unitaria

Los procesos integrados son un mecanismo frecuentemente utilizado para eliminar la tendencia en una serie de tiempo al tomar primeras diferencias. Un proceso estocástico no estacionario que puede transformarse en estacionario en primeras diferencias se le conoce como integrado de primer orden  $I(1)$ . En general, el orden de integración  $I(d)$  sugiere el número de veces  $d$  que tuvieron que aplicarse para que el proceso se considere estacionario. Cuando no es necesario obtener primeras diferencias para que el proceso estocástico sea estacionario se le conoce al orden de integración como  $I(0)$ . De modo que:

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \tag{4.10}$$

donde  $y_t$  es  $I(d)$  si  $\Delta^d y_t$  es estacionario, mientras que  $\Delta^{d-1} y_t$  es no estacionario.

Un proceso integrado  $I(d)$  con  $d \geq 1$  es comúnmente conocido como un proceso que tiene raíz unitaria. Debido a que el orden de integración es difícil de concluir a partir de gráficos del comportamiento de las series en el tiempo, de la autocorrelación o de la autocorrelación parcial; y de su importancia para la metodología VAR, se han desarrollado pruebas estadísticas para detectar la presencia de una raíz unitaria. Estas pruebas contrastan dos tipos de hipótesis, una donde el proceso estocástico no tiene raíz unitaria y es estacionario, y otra donde sí hay raíz unitaria y no es estacionario. En general, las pruebas de raíz unitaria consideran tres tipos de comportamiento para las series de tiempo: caminata aleatoria, caminata aleatoria con deriva, una caminata aleatoria con deriva entorno a una tendencia. Aunque el objetivo es el mismo, algunas pruebas verifican como hipótesis nula que si existe raíz unitaria (como la prueba de Dickey Fuller Aumentada o la prueba de Phillips-Perron) y otras donde se prueba en la hipótesis nula que el proceso es estacionario (como la prueba Kwiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin). A continuación se describen dos pruebas para ejemplificar lo antes expuesto.

### Prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF)

La prueba de Dickey-Fuller tiene como hipótesis nula la presencia de una raíz unitaria, es decir, que el proceso estocástico es no estacionario. Para realizar esta prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta y_t = \phi y_t + \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_j^* \Delta y_{t-j} + u_t \quad (4.11)$$

donde  $\Phi = -\alpha(1)^{14}$  y  $\alpha_j^* = -(\alpha_{j+1} + \dots + \alpha_p)$ . En este modelo se prueba la hipótesis nula  $H_0: \Phi = 0$ , frente la hipótesis alternativa  $H_1: \Phi < 0$ .

### 4.4 Regresión espuria

Una regresión espuria ocurre cuando los elementos de las variables dependientes  $y_t$  y las variables independientes  $x_t$  son no estacionarios. En términos matriciales:

$$Y_t = x_t' \beta + u_t \quad (4.15)$$

donde  $u_t$  representa a los residuales. De no existir un valor poblacional de  $\beta$  tal que el valor residual  $u_t = y_t - x_t' \beta$ , entonces la estimación producirá resultados espuria (Hamilton, 1994, pp. 557-570). La noción de regresión espuria se refiere a una regresión entre variables no estacionarias que encuentra resultados de ajuste aún en la ausencia de una conexión directa entre ellas (Amisano & Giannini, n.d., p. 86). Es decir, una regresión se considera espuria cuando el residual  $u_t$  es no estacionario para todos los posibles valores del vector de coeficientes, de modo que los resultados parecerán espuriamente precisos aunque la estimación no sea consistente.

### 4.5 Cointegración

El único escenario donde no debe haber preocupación por una regresión espuria es cuando las series son no estacionarias y cointegran (Koop, 2000, p. 153). La cointegración es importante para la metodología VAR debido a su vínculo con la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo entre variables no estacionarias. Por equilibrio se entiende un estado donde no hay una tendencia endógena para desviarse. El concepto de cointegración se refiere a la propiedad

---

<sup>14</sup> Se entiende que en los modelos autorregresivos  $\alpha(1) = 0$  e indica la presencia de raíz unitaria.

estadística de series no estacionarias que lleva a interpretaciones significativas en términos de la existencia de relaciones de equilibrio.

Se dice que un vector  $(nx1)$  de series de tiempo  $y_t$  está cointegrado si cada una de las series es  $I(1)$  individualmente, no estacionarias con raíz unitaria, pero una combinación lineal de las series es estacionaria o  $I(0)$ , para un vector  $(nx1)$  diferente de cero (Hamilton, 1994, p. 571). De manera general, la cointegración se define de la siguiente manera: dado  $y_t$  un vector  $(nx1)$  de variables  $I(d)$  (series que necesitan diferenciarse  $d$  veces para ser estacionarias), se dice que son cointegradas de orden  $(d, b)$  y con rango  $r < n$  si existe una matriz con rango completo  $\beta (n \times r)$  tal que  $z_t = \beta' y_t$  sea  $I(d-b)$ . Es decir, existen  $r$  combinaciones lineales de elementos de  $y_t$  que generan variables con un menor orden de integración (Amisano & Giannini, n.d., pp. 85-88).

#### *Metodología de Engle y Granger (EG) para determinar cointegración entre series*

La metodología EG es una prueba de no integración entre las variables. El primer paso de este método requiere conocer el orden de integración de cada una de las series utilizando pruebas de raíz unitaria, como la prueba ADF o la prueba KPSS del punto 4.1.3. Asumiendo que el resultado de las pruebas es consistente con la hipótesis de que las series son  $I(1)$ , entonces la condición necesaria para la regresión  $Y_t = \varphi_1 + \varphi_2 X_t + \varepsilon_t$  sea considerada una regresión de cointegración se cumple entre  $Y_t$  y  $X_t$ .

El siguiente paso es evaluar el orden de integración de los residuales. Si el resultado sugiere que  $\varepsilon_t$  es  $I(1)$ , la regresión no es una regresión de cointegración; por otro lado si  $\varepsilon_t$  es  $I(0)$ , es consistente con la hipótesis que es una regresión de cointegración. Como los residuales no son observables, las pruebas se basan en estimadores de  $\varepsilon_t$ . Una alternativa para estos estimadores se obtiene a través de una regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios con los residuales  $\varepsilon_t^\wedge$  de la forma  $Y_t^\wedge = \varphi_1^\wedge + \varphi_2^\wedge X_t + \varepsilon_t^\wedge$ , comúnmente conocida como regresión EG de las variables  $I(1)$ .

Después de evaluar la regresión EG, el siguiente paso es identificar si el orden de integración de  $\varepsilon_t^\wedge$  es consistente con un proceso  $I(1)$ . Si  $\varepsilon_t^\wedge$  es  $I(1)$ , entonces  $Y_t$  y  $X_t$  no cointegran; en cambio, si  $\varepsilon_t^\wedge$  es  $I(0)$ , entonces se rechaza la hipótesis de que  $\varepsilon_t^\wedge$  tiene raíz unitaria de manera que  $Y_t$  y  $X_t$  si cointegran.

### *Prueba de cointegración de Johansen*

La prueba de cointegración de Johansen es una prueba como la de Engle y Granger que se utiliza para determinar las relaciones de cointegración entre variables. La particularidad de este método es que permite más de una relación de cointegración en un sistema de variables. Esta prueba se puede realizar de dos diferentes enfoques, con eigenvalores o con traza. La hipótesis nula para la traza establece que los vectores que cointegran son  $r = r^* < k$ , y la hipótesis alternativa que  $r = k$ , donde  $r^* = 1, 2, \dots, k - 1$  y  $k$  es el número de variables que se consideran. Para la prueba con eigenvalores, la hipótesis nula es similar a la traza y la alternativa es  $r = r^* + 1$ .

#### **4.6 Modelos de Corrección de Error (ECM<sup>15</sup>)**

El concepto de cointegración sugiere que existe una relación de equilibrio de largo plazo entre dos variables; sin embargo, es posible que en el corto plazo las series se encuentren en desequilibrio. El MCE se utiliza para conciliar el comportamiento de corto plazo de una variable económica con su comportamiento de largo plazo, es decir, corrige el desequilibrio que puede existir entre las variables en el corto plazo (Gujarati & Porter, 2010, pp. 764-769).

Un teorema importante sobre las relaciones entre variables en el tiempo, conocido como el teorema de representación de Granger, establece que si dos variables cointegran, entonces la relación entre ellas puede representarse como un MCE (Koop, 2000, pp. 159-160). Asumiendo que  $Y$  y  $X$  cointegran, los MCE pueden representarse de la siguiente manera:

$$\Delta Y_t = \varphi + \lambda e_{t-1} + \omega_0 \Delta X_t + \varepsilon_t \quad (4.16)$$

donde  $e_{t-1}$  es el error obtenido del modelo de regresión de  $Y$  y  $X$ <sup>16</sup>, y  $\varepsilon_t$  es el error del modelo MCE. El MCE puede considerarse un modelo de regresión simple si conocemos el valor de  $e_{t-1}$ , de manera que  $\Delta Y_t$  es la variable dependiente, y  $e_{t-1}$  y  $\Delta X_t$  son las variables independientes.

Los modelos de regresión utilizan variables explicativas para tratar de entender el comportamiento de la variable dependiente. La característica de los modelos MCE es que la variable  $\Delta Y_t$  depende de  $\Delta X_t$ , pero también depende de los errores  $e_{t-1}$ . Un modelo en equilibrio

---

<sup>15</sup> Por sus siglas en inglés *Error-Correcting Model*.

<sup>16</sup> Por ejemplo:  $e_{t-1} = Y_{t-1} - \alpha - \beta X_{t-1}$

sugiere que la variable dependiente es explicada por el comportamiento de la variable independiente, de manera que el valor de  $e$  debe de ser cero. Cuando el valor de  $e$  es diferente de cero, entonces el modelo no se encuentra en equilibrio. Si  $Y_{t-1}$  se encuentra fuera del equilibrio, entonces empezará a acercarse en los siguientes periodos y el error de equilibrio se corregirá en el proceso.

Las ventajas de utilizar los modelos MCE es que considera el equilibrio no sólo en largo plazo, sino también en el corto plazo. En concreto, sugiere que si  $X$  cambia, el valor de equilibrio de  $Y$  cambiará acorde al cambio de la variable independiente. Otra ventaja de estos modelos es que omiten el caso de obtener una regresión espuria dado que  $Y$  y  $X$  tienen raíces unitarias, de modo que  $\Delta Y$  y  $\Delta X$  son estacionarias. Como el error de equilibrio es estacionario y  $Y$  y  $X$  cointegran; entonces todas las variables del modelo MCE son estacionarias y se pueden utilizar estimaciones por Mínimos Cuadrados Ordinarios (Koop, 2000, p. 160).

#### 4.7 Vectores de Corrección de Error<sup>17</sup>

Los modelos VECM se utilizan cuando el interés se centra en las relaciones de cointegración entre más de dos variables y tienen la siguiente forma:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + u_t \quad (4.17)$$

donde  $\Pi = -(I_k - A_1 - \dots - A_p)$  y  $\Gamma_i = -(A_{i+1} + \dots + A_p)$  para  $i = 1, \dots, p - 1$ . El VECM se obtiene del VAR en niveles al sustraer  $y_{t-1}$  de ambos lados de la igualdad y al reacomodar términos. Debido a que todas las variables en el VECM tienen un orden de integración como máximo  $I(1)$ ,  $\Delta y_t$  no contiene una tendencia estocástica, de manera que el término  $\Pi y_{t-1}$  es el único que contiene variables  $I(1)$ . Si esto es cierto,  $\Pi y_{t-1}$  debe ser  $I(0)$  y contiene las relaciones de cointegración. Los términos  $\Gamma_i$  ( $j = 1, \dots, p - 1$ ) se conocen como los parámetros de corto plazo, mientras que  $\Pi y_{t-1}$  representa el parámetro de largo plazo. Si todas las variables son estacionarias, entonces  $r = k$  y el proceso es estacionario. Por otra parte, si  $r = 0$ , el término  $\Pi y_{t-1}$  desaparece y  $\Delta y_t$  tiene una representación VAR estable. Un VAR estable existe para las primeras diferencias de las variables en lugar de en niveles.

---

<sup>17</sup> (Lutkepohl & Kratzig, 2004, pp. 88-89)

También es posible añadir variables exógenas en los VECM cuando no se consideran ecuaciones explicativas de esas variables en el sistema. Una representación general de estos modelos modifica la ecuación (4.17) al incluir variables estocásticas  $z_t$  solamente en el lado derecho de la ecuación con un coeficiente  $B$  como su respectiva matriz de parámetros:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + B z_t + u_t \quad (4.18)$$

#### 4.8 Causalidad

El concepto de causalidad fue introducido por Granger (1969) y se define de la siguiente manera: una variable  $y_{2t}$  es causal para una variable de series de tiempo  $y_{1t}$ , si la primera ayuda a mejorar el pronóstico de la última (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 144). Los modelos VAR son mecanismos útiles para analizar la causalidad del enlace entre las variables y para identificar qué series son realmente exógenas (Amisano & Giannini, n.d., p. 13).

Al denotar con  $y_{1,t+h/\Omega_t}$  el pronóstico óptimo de  $h$ -pasos de  $y_{1t}$  en el origen  $t$ , basado en todo el conjunto de información relevante en el universo  $\Omega_t$ , se puede definir que  $y_{2t}$  no es causal en el sentido de Granger para  $y_{1t}$  si y sólo si:

$$y_{1,t+h/\Omega_t} = y_{1,t+h/\Omega_t \setminus \{y_{2,s} / s \leq t\}} \quad \forall h = 1, 2, \dots \quad (4.19)$$

En la ecuación anterior  $y_{2t}$  no es causal para  $y_{1t}$  si al eliminar los rezagos de  $y_{2t}$  en el conjunto de información el pronóstico óptimo de  $y_{1t}$  no cambia en ningún horizonte de pronóstico. En cambio,  $y_{2t}$  es causal en el sentido de Granger para  $y_{1t}$  si la ecuación (4.19) no se mantiene para al menos una  $h$ , de modo que un mejor pronóstico de  $y_{1t}$  se obtiene para algún horizonte de pronóstico al incluir el pasado de  $y_{2t}$  en el conjunto de información (Lutkepohl & Kratzig, 2004, pp. 144-150). Si  $\Omega_t$  contiene solamente valores pasados de  $y_1$  y  $y_2$ , es decir  $\Omega_t = \{(y_{1,s}, y_{2,s})' \setminus s \leq t\}$ , y  $\{y_{1,t}, y_{d,t}\}'$  es generado por un proceso VAR(p) bivariado de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} \alpha_{11,i} & \alpha_{12,i} \\ \alpha_{21,i} & \alpha_{22,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{bmatrix} + u_t \quad (4.20)$$

entonces la ecuación (4.19) es equivalente a:

$$\alpha_{12,i} = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, p \quad (4.21)$$

Si los rezagos de  $y_{2t}$  no aparecen en la ecuación de  $y_{1t}$ , entonces  $y_{2t}$  no causa en el sentido de Granger a  $y_{1t}$ . Lo mismo aplica si lo que se desea conocer es la causalidad de  $y_{1t}$  a  $y_{2t}$ . La causalidad de Granger también puede medirse en un modelo VECM, por ejemplo en el caso bivariado:

$$\begin{bmatrix} \Delta y_{1t} \\ \Delta y_{2t} \end{bmatrix} = \alpha\beta' \begin{bmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-2} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{p-1} \begin{bmatrix} \gamma_{11,i} & \gamma_{12,i} \\ \gamma_{21,i} & \gamma_{22,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-i} \\ \Delta y_{2,t-i} \end{bmatrix} + u_t \quad (4.22)$$

En este escenario el rango de cointegración  $r$  sólo puede ser 0, 1 ó 2, donde  $r=1$  representa el único escenario donde existe integración entre las variables, de modo que debe haber causalidad de Granger en al menos una dirección.

#### *Prueba de Wald (causalidad VECM)*

Debido a que la prueba de causalidad de Granger requiere verificar si el valor de los coeficientes es igual a cero, se utilizan pruebas de restricción en los coeficientes de los modelos VAR. Sin embargo, puede haber propiedades asintóticas no estandarizadas cuando el VAR contiene variables estacionarias en diferencias, como sucede en los VECM. En este contexto, se utiliza la prueba de Wald para medir la causalidad de Granger como resultado de distribuciones limitadas no estandarizadas que dependen de las condiciones de cointegración en el sistema (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 148).

En general, la prueba de Wald se utiliza para probar el valor verdadero de un parámetro basado en el estimador de una muestra. El estadístico de prueba tiene una distribución asintótica  $\chi^2$  con  $J$  grados de libertad en la hipótesis nula.

#### 4.9 Funciones de impulso respuesta (IRF<sup>18</sup>)

La técnica de impulso respuesta es un mecanismo descriptivo que representa la reacción de cada variable debido a *shocks* en las diferentes ecuaciones del sistema (Amisano & Giannini, n.d., p. 60). El desarrollo de este método y su interpretación depende de la estacionariedad de los modelos distinguiéndose dos escenarios: los modelos VAR estacionarios y los modelos VAR y VECM no estacionarios.

##### *IRF en Modelos VAR estacionarios*

Si el proceso  $y_t$  es  $I(0)$ , el efecto de *shocks* en las variables de un sistema puede observarse utilizando la representación de Wold de medias móviles:

$$y_t = \Phi_0 u_t + \Phi_1 u_{t-1} + \Phi_2 u_{t-2} + \dots \quad (4.23)$$

donde  $\Phi_0 = I_k$ . Los coeficientes de esta representación se pueden interpretar como el reflejo de respuestas a impulsos que chocan en el sistema (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 166). Debido a que el cambio en  $y_t$  es medido por las innovaciones en  $u_{it}$ , los elementos de  $\Phi_s$  representan el impulso respuesta de los componentes de  $y_t$  con respecto a las innovaciones  $u_t$ . Si se desea conocer el efecto acumulado de los impulsos, es decir el efecto total de largo plazo, solamente deben agregarse matrices  $\Phi_s$ <sup>19</sup>. En el caso de que los componentes de  $u_t$  se encuentren correlacionados, es decir si  $\Sigma u$  no es diagonal, entonces las innovaciones ortogonales son preferibles y pueden obtenerse utilizando la descomposición de Choleski de la matriz de covarianza  $\Sigma u$ . En este escenario las funciones de impulso respuesta se conocen como impulsos respuesta ortogonales.

##### *IRF en modelos VAR y VECM no estacionarios*

Aunque la representación de Wold no existe para procesos no estacionarios que cointegran, las matrices de impulso respuesta pueden calcularse basándose en modelos VAR con variables

<sup>18</sup> Por sus siglas en inglés *Impulse Response Functions*.

<sup>19</sup> Esta matriz existe solamente si el modelo VAR es estable.

integradas o la versión en niveles de los modelos VECM (Lutkepohl & Kratzig, 2004, p. 167). En este escenario la matriz  $\Phi_s$  no converge a cero a medida que  $s \rightarrow \infty$ , de manera que ciertos *shocks* pueden tener efectos permanentes.

De la versión de Johansen del teorema de representación de Granger se conoce que  $y_t$  se genera de un VECM en forma reducida  $\Delta y_t = \alpha\beta'y_{t-1} + \Gamma_1\Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1}\Delta y_{t-p+1} + u_t$ , tiene la representación de un modelo de media móvil (MA):

$$y_t = \Xi \sum_{i=1}^t u_t + \Xi^*(L)u_t + y_0^* \quad (4.24)$$

donde  $\Xi = \beta_\perp(\alpha'_\perp(I_k - \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i) \beta_\perp)^{-1} \alpha'_\perp$ ,  $\Xi^*(L) = \sum_{j=0}^{\infty} \Xi^*_j L^j$  es un polinomio de orden infinito en el operador de rezagos con una matriz de coeficientes  $\Xi^*_j$  que tiende a cero a medida que  $j \rightarrow \infty$ , y un término  $y_0^*$  que contiene todos los valores iniciales. Si el rango de cointegración del sistema es  $r$ , entonces  $\Xi$  tiene un rango  $K-r$  y representa los efectos de largo plazo del pronóstico de error de las funciones de impulso respuesta, mientras que  $\Xi^*_j$  contiene los efectos transitorios.

#### 4.10 Descomposición de la varianza

El análisis de descomposición de la varianza es una herramienta que provee información complementaria para entender las relaciones dinámicas entre las variables conjuntamente analizadas en un modelo VAR. Este método consiste en determinar cómo afectan las innovaciones estructurales al comportamiento de las variables dentro del sistema (Amisano & Giannini, n.d., p. 67). La descomposición de la varianza también permite comparar el efecto que tiene cada una de las variables en los análisis de impulso respuesta para la reacción de innovaciones en el tiempo.

Considerando un modelo VAR de pronóstico de error de  $h$ -pasos de la siguiente forma<sup>20</sup>:

$$Y_{T+h} - Y_{T+h/T} = u_{T+h} + \Phi_1 u_{T+h-1} + \dots + \Phi_{h-1} u_{T+1} \quad (4.25)$$

<sup>20</sup> La ejemplificación de la metodología se retoma de Lutkepohl & Kratzig (2004, pp. 180-186).

Al expresar el error en término de cambios estructurales en las innovaciones  $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \dots, \varepsilon_{kt})'B^{-1}Au_t$ , se obtiene:

$$Y_{T+h} - Y_{T+h/T} = \psi_0\varepsilon_{T+h} + \psi_1\varepsilon_{T+h-1} + \dots + \psi_{h-1}\varepsilon_{T+1} \quad (4.26)$$

donde  $\psi_j = \Phi_j A^{-1}B$ . Dado que  $\varepsilon_{kt}$  no están correlacionados serialmente y tienen varianza unitaria por construcción, la varianza del pronóstico de error puede denotarse como sigue:

$$\sigma_k^2(h) = \sum_{n=0}^{h-1} (\psi^2_{k1,n} + \dots + \psi^2_{kK,n}) = \sum_{j=1}^K (\psi^2_{kj,0} + \dots + \psi^2_{kj,h-1}) \quad (4.27)$$

El término  $(\psi^2_{kj,0} + \dots + \psi^2_{kj,h-1})$  se interpreta como la contribución de la variable  $j$  al pronóstico de error de  $h$ -pasos de la variable  $k$ , que al dividir entre  $\sigma_k^2(h)$  resulta como el porcentaje de contribución de la variable  $j$  al pronóstico de error de  $h$ -pasos de la variable  $k$ :

$$\omega_{kj}(h) = (\psi^2_{kj,0} + \dots + \psi^2_{kj,h-1}) / \sigma_k^2(h) \quad (4.28)$$

## **CAPITULO V. RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES**

### **Introducción**

En este capítulo se presenta la especificación y la estimación de tres diferentes modelos de vectores autorregresivos que buscan cumplir con el objetivo general de la tesis. El modelo 1 se especifica para determinar la naturaleza de la relación de causalidad de corto plazo entre el consumo de electricidad y el PIB (objetivo 1), y para determinar si existe una relación de largo plazo entre las mismas variables (objetivo 2). El modelo 2 se plantea para conocer la naturaleza de la relación de corto y largo plazo entre los precios de la electricidad y de los petroquímicos con el PIB (objetivo 3). El modelo 3 se plantea para identificar los sectores de actividad económica que son más sensibles al cambio en el precio de la electricidad (objetivo 4). Finalmente, se presenta un pronóstico del crecimiento del PIB ante diferentes escenarios de precios de acuerdo a lo estipulado por la reforma energética (objetivo 5).

### 5.1 Modelo 1: Relación entre crecimiento económico y consumo de electricidad en México

El primer modelo busca encontrar la relación existente entre el consumo de energía eléctrica y el crecimiento económico de México. El modelo que se propone incluye al Producto Interno Bruto de México y el Consumo de Electricidad como variables endógenas, y como variables exógenas a la formación bruta de capital fijo, la población ocupada, la tasa de rendimiento de los CETES y un indicador que refleje el desempeño de la economía en Estados Unidos, ya sea el índice de producción industrial o el producto interno bruto de ese país.

El modelo en su representación VAR se ilustra de la siguiente manera:

$$y_t = \Pi_0 + \Pi_1 y_{t-1} + \Pi_2 y_{t-2} + \dots + \Pi_p y_{t-p} + \Omega_1 X_{1t} + \Omega_2 X_{2t} + \Omega X_{3t} + \Omega X_{4t} + \varepsilon_t \quad (5.1)$$

donde  $y_t$  es un vector (2x1) de las variables endógenas,  $X_m$  es un vector (4x1) de variables exógenas con  $m = 1, \dots, 4$ ,  $\Pi_0$  es un vector (2x1) de términos constantes,  $\Pi_j$  es una matriz (2xn) de coeficientes autorregresivos con  $j = 1, 2, \dots, p$  y  $p$  es el número de rezagos,  $\Omega_i$  es una matriz (2x4) de coeficientes de variables exógenas, y  $\varepsilon_t$  es un vector (2x1) de errores. En su forma expandida:

$$\begin{bmatrix} PIB \\ CE \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Pi_0^{PIB} \\ \Pi_0^{CE} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \dots & \Pi_{1p} \\ \Pi_{21} & \Pi_{22} & \dots & \Pi_{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} & \Omega_{14} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} & \Omega_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_t \\ US_t \\ L_t \\ i_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{PIB} \\ \varepsilon_t^{CE} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

donde CE es el consumo de electricidad total, PIB es el producto interno bruto de México, K es la formación fija de capital bruto, US puede denotar el índice de producción industrial de Estados Unidos o el producto interno bruto del mismo país, dependiendo del resultado de las estimaciones, L es la población ocupada, e i es la tasa de rendimiento en CETES. Primero se va determinar el orden de integración de las variables. En caso de existir raíz unitaria, se procederá a determinar si existe cointegración entre CE y PIB. Si existe cointegración entre las variables, la ecuación 5.1 se estimará como un VEC.

## 5.2 Modelo 2: Relación entre crecimiento económico y precios de la energía

El segundo modelo pretende averiguar el efecto que tiene el movimiento de los precios de los energéticos en el crecimiento económico. El modelo incluye como variables endógenas el precio de la electricidad, el precio de los productos petroquímicos y el producto interno bruto, conservando las variables exógenas que se presentaron en el modelo anterior. El precio de los petroquímicos se utilizó para capturar las variaciones del precio de los derivados del petróleo y del gas natural, debido a que no se encontraban disponibles datos suficientes de estas variables en el periodo de tiempo seleccionado. De este modo, se seleccionó el precio de la electricidad y el precio de los productos petroquímicos como representación del desempeño de los precios del sector energético, con el objetivo de identificar el impacto individual que tienen sobre el crecimiento económico de México.

En su representación VAR, el modelo se ilustra de la siguiente manera:

$$y_t = \Psi_0 + \Psi_1 y_{t-1} + \Psi_2 y_{t-2} + \dots + \Psi_p y_{t-p} + \Phi_1 X_{1t} + \Phi_2 X_{2t} + \Phi_3 X_{3t} + \Phi_4 X_{4t} + \varepsilon_t \quad (5.3)$$

donde  $y_t$  es un vector (3x1) de las variables endógenas,  $X_m$  es un vector (4x1) de variables exógenas con  $m = 1, \dots, 4$ ,  $\Psi_0$  es un vector (3x1) de términos constantes,  $\Psi_j$  es una matriz (3xn) de coeficientes autorregresivos con  $j = 1, 2, \dots, p$  y  $p$  es el número de rezagos,  $\Phi_i$  es una matriz (3x4) de coeficientes de variables exógenas, y  $\varepsilon_t$  es un vector (3x1) de errores. En su forma expandida:

$$\begin{bmatrix} PIB \\ PElec \\ Ppetro \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_0^{PIB} \\ \Psi_0^{PElec} \\ \Psi_0^{Ppetro} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{12} & \dots & \Psi_{1p} \\ \Psi_{21} & \Psi_{22} & \dots & \Psi_{2p} \\ \Psi_{31} & \Psi_{32} & \dots & \Psi_{3p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \Phi_{14} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \Phi_{24} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \Phi_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_t \\ US_t \\ L_t \\ i_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{PIB} \\ \varepsilon_t^{PElec} \\ \varepsilon_t^{Ppetro} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

donde PElec es el precio promedio de la electricidad total, y Ppetro es el precio de los productos petroquímicos. Nuevamente, primero se debe determinar el orden de integración de las variables. En caso de existir raíz unitaria, se procederá a determinar si existe cointegración entre PElec, Ppetro y PIB. Si existe cointegración entre las variables, la ecuación 5.3 se estimará como un VEC.

### 5.3 Modelo 3: Estimaciones por sectores económicos

El tercer modelo se estima con la finalidad de comparar el efecto de los precios de la electricidad en el producto interno bruto en cada sector económico. En este sentido, se realizarán tres estimaciones diferentes: la primera incluye como variables endógenas el precio de la electricidad agrícola con el producto interno bruto del sector primario; la segunda, el precio de la electricidad industrial con el producto interno bruto del sector secundario; y la tercera, el precio de la electricidad de los servicios con el producto interno bruto del sector terciario. En los tres casos se incluye como variable exógena el índice de producción industrial de Estados Unidos.

En su representación VAR, las tres estimaciones se pueden ilustrar de la siguiente manera:

$$y_t = A_0 + A_1y_{t-1} + A_2y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + BIPIOUS_t + \varepsilon_t \quad (5.5)$$

donde  $y_t$  es un vector (2x1) de las variables endógenas,  $A_0$  es un vector (2x1) de términos constantes,  $A_j$  es una matriz (2xn) de coeficientes autorregresivos con  $j = 1, 2, \dots, p$  y  $p$  es el número de rezagos,  $B_i$  es una matriz (2x1) de coeficientes de variables exógenas, y  $\varepsilon_t$  es un vector (3x1) de errores. En su forma expandida cada estimación se ilustra de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} PIBp \\ PElecA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0^{PIBp} \\ A_0^{PElecA} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1p} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} + BIPIOUS_t + \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{PIBp} \\ \varepsilon_t^{PElecA} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$$\begin{bmatrix} PIBs \\ PElecI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0^{PIBs} \\ A_0^{PElecI} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1p} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} + BIPIOUS_t + \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{PIBs} \\ \varepsilon_t^{PElecI} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

$$\begin{bmatrix} PIBt \\ PElecS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0^{PIBt} \\ A_0^{PElecS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1p} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} + BIPIOUS_t + \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{PIBt} \\ \varepsilon_t^{PElecS} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

donde  $PElecA$  es el precio promedio de la electricidad en el sector agrícola y  $PIBp$  es el producto interno bruto del sector primario;  $PElecI$  es el precio promedio de la electricidad en el sector

industrial y PIBs es el producto interno bruto del sector secundario; PElecS es el precio promedio de la electricidad en el sector servicios y PIBt es el producto interno bruto del sector terciario.

En cada estimación se debe determinar el orden de integración de las variables. En caso de existir raíz unitaria en alguna de las estimaciones, se procederá a determinar si existe cointegración entre el precio de la electricidad y el producto interno bruto en ese sector. Si existe cointegración entre las variables, la ecuación de ese sector se estimará como un VEC.

#### **5.4 Definición de variables y pruebas de raíz unitaria**

La selección de variables en los modelos de Vectores Autorregresivos (VAR) considera dos tipos de elementos para su construcción: variables endógenas y variables exógenas. Las variables endógenas son las que se definen dentro del mismo modelo y en las que gira la discusión de lo que se intenta probar mientras que las variables exógenas son aquellas que se consideran como un factor externo que complementan la estimación y el análisis explicativo de cada variable endógena.

En otros estudios empíricos de la economía de la energía las variables endógenas de los modelos que se trabajan generalmente son el crecimiento económico y el consumo de energía del país en cuestión. El crecimiento económico se relaciona con el aumento del valor de la producción total, de manera que la variable que comúnmente se utiliza es el producto interno bruto. Por otra parte, es habitual elegir algún energético que represente la relación de la producción con el consumo de energía de los países, generalmente uno con alto nivel de consumo. En esta tesis se trabaja con el consumo de electricidad por su relación con el sector industrial, con el agrícola y con el residencial.

Las series se obtuvieron de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, a través del Banco de Información Económica, de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo y de la Encuesta Nacional de Empleo; de la Secretaría de Energía; del *Bureau of Economic Analysis*, y del *Bureau of Labor Statistics*. Se buscaba obtener una muestra reciente lo más extensa posible. Tomando en cuenta la disponibilidad de datos en las fuentes oficiales, el periodo comprendido fue entre 1993 a 2014 con frecuencia trimestral, sumando un total de 85 observaciones. Todas las variables fueron tratadas en logaritmos naturales para disminuir la varianza. En el cuadro 5.1 se presenta una descripción de las variables y en el gráfico 5.1 se muestra su comportamiento en el periodo de tiempo.

**Cuadro 5.1 Descripción de variables (periodo 1993-2014)**

<b>Variable</b>	<b>Nombre</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Notas</b>	<b>Fuente</b>
PIB	Producto Interno Bruto Total (México)	Es el valor de la producción total de bienes y servicios de México.	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Se dividió entre mil para expresarse de millones a miles de millones de pesos y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
PIBp	Producto Interno Bruto Sector Primario	Es el valor de la producción total de las actividades primarias de México.	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Se dividió entre mil para expresarse de millones a miles de millones de pesos y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
PIBs	Producto Interno Bruto Sector Industrial	Es el valor de la producción total de las actividades secundarias de México.	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Se dividió entre mil para expresarse de millones a miles de millones de pesos y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
PIBt	Producto Interno Bruto Sector Servicios	Es el valor de la producción total de las actividades terciarias de México.	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Se dividió entre mil para expresarse de millones a miles de millones de pesos y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
K	Formación Bruta de Capital Fijo	Es el incremento de los activos fijos <sup>a</sup> .	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Se dividió entre mil para expresarse de millones a miles de millones de pesos y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
L	Población ocupada	Es la población de 15 años o más que ejerce algún trabajo a cambio de una remuneración.	Número de personas	Se utilizó interpolación lineal para obtener datos anuales de 1993 al 1997, y se utilizaron tres encuestas diferentes <sup>b</sup> .	INEGI

i	Tasa de rendimiento en CETES (28 días)	Medida del desempeño de inversión de los títulos de crédito emitidos por el Gobierno Federal.	Tasa	Originalmente valores mensuales, convertidos a trimestrales (por promedio).	INEGI
PIBUS	Producto Interno Bruto (Estados Unidos)	Es el valor de la producción total de bienes y servicios de Estados Unidos en un período determinado.	Miles de millones de pesos (a precios 2008)	Originalmente en billones de dólares (ajustados anualmente <sup>c</sup> ).	BEA, BLS
IPIUS	Indice de la producción Industrial de Estados Unidos	Indicador sobre la evolución mensual productiva del valor añadido bruto a costo de los factores del sector industrial.	Indice (2008=100)	Originalmente valores mensuales, convertidos a trimestrales (por promedio). Se cambió el año base de 2010 a 2008 (primer trimestre).	INEGI
CE	Consumo de electricidad Total	Cantidad total de electricidad (energía transmitida por electrones en movimiento) utilizada en México.	Miles de millones de watts/hora	Originalmente valores mensuales, convertidos a trimestrales (con suma) y se realizó un ajuste estacional.	INEGI
PElec	Precio promedio de la electricidad Total	Valor monetario que se paga en promedio por una cantidad determinada de electricidad.	Pesos por kilowatt/hora (promedio)	Originalmente centavos por kilowatt/hora, convertidos a pesos <sup>d</sup> .	Secretaría de Energía, INEGI
PElecA	Precio promedio de la electricidad Sector Agrícola	Valor monetario que se paga en promedio por una cantidad determinada de electricidad.	Pesos por kilowatt/hora (promedio)	Originalmente centavos por kilowatt/hora, convertidos a pesos <sup>d</sup> .	Secretaría de Energía, INEGI
PElecI	Precio promedio de la electricidad Sector Industrial	Valor monetario que se paga en promedio por una cantidad determinada de electricidad.	Pesos por kilowatt/hora (promedio)	Originalmente centavos por kilowatt/hora, convertidos a pesos <sup>d</sup> .	Secretaría de Energía, INEGI

PElecS	Precio promedio de la electricidad Sector Servicios	Valor monetario que se paga en promedio por una cantidad determinada de electricidad.	Pesos por kilowatt/hora (promedio)	Originalmente centavos por kilowatt/hora, convertidos a pesos <sup>d</sup> .	Secretaria de Energía, INEGI
Ppetro	Precio productos petroquímicos	Valor monetario promedio que se paga por los productos químicos elaborados a partir de materias primas que tienen su origen en el petróleo crudo y el gas natural.	Pesos por kg	Se calculó a partir del cociente "valor total" y "volumen total). Originalmente datos mensuales, convertidos a trimestrales.	INEGI

Fuente: Elaboración propia.

-Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Las variables expresadas en valores nominales que se obtuvieron de INEGI se encuentran deflactadas por el Índice Nacional de Precios al Consumidor año base 2008.

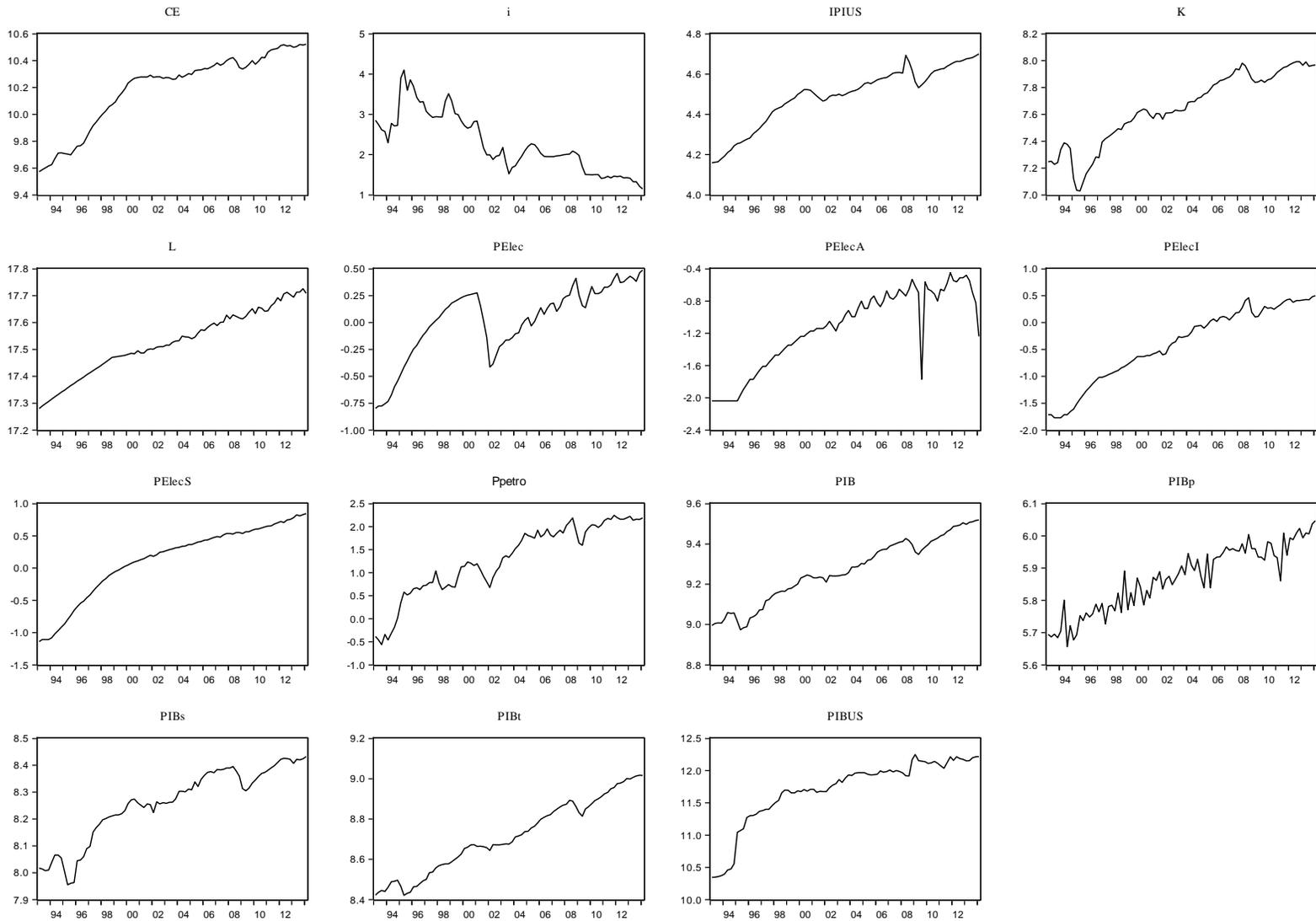
<sup>a</sup> Incluye los gastos en mejoras y/o reformas que prolonguen la vida útil o la productividad del bien.

<sup>b</sup> Para la información de 1993 hasta 2000 se utilizó la ENE, la interpolación se hizo hasta de 1993 hasta 1997 para obtener datos anuales y posteriormente se transformaron los datos anuales en trimestrales utilizando el mismo método (se multiplicó por mil porque los datos originales estaban expresados en miles). Para el periodo 2000-2004 se transformaron los datos de la ENOE (conteo 2005) para equipararlos con un promedio de comparación con los datos de la ENOE (15 años y más) que se presentaban en ambas encuestas. Para el periodo 2005-2015 se utilizaron los datos de la ENOE (15 años y más).

<sup>c</sup> Se utilizó el tipo de cambio interbancario para transformarlo a pesos y posteriormente se convirtió a la unidad de miles de millones de pesos; después se utilizó el Índice Nacional de Precios al Consumidor (*Consumer Price Index*) de Estados Unidos para deflactar la serie a precios del 2008.

<sup>d</sup> Se utiliza la base de INEGI con interpolación lineal para los datos del 1993-2001, y la base de la Secretaria de Energía para los datos posteriores.

### GRAFICO 5.1 Variables en logaritmos naturales



Fuente: Elaboración propia con datos del BEA, INEGI.

Como se mencionó anteriormente, el primer paso para la correcta especificación de un modelo VAR es conocer la naturaleza estacionaria de las series. Este paso es importante por lo que se comentó en el apartado 4.4, las series deben ser estacionarias para evitar resultados de regresiones espurias. Si las pruebas de raíz unitaria sugieren que las variables no son estacionarias, se deben aplicar primeras o segundas diferencias. En el cuadro 5.2 se muestra el resultado de las pruebas de raíz unitaria de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP) aplicadas a todas las variables.

**Cuadro 5.2 Pruebas de raíz unitaria ADF y PP.**

Variable	Tipo de Prueba	Estadístico ADF	Prob ADF	Estadístico PP	Prob. PP	Orden de integración
CE	C y T	-1.6044	0.7829	-1.3856	0.8583	I(1)
dCE	N	-2.5682	0.0107	-5.0013	0.0000	I(0)
i	C	-0.7233	0.8342	-1.0515	0.7313	I(1)
di	N	-8.1371	0.0000	-8.1371	0.0000	I(0)
IPIUS	C y T	-2.6009	0.2811	-2.2032	0.4814	I(1)
dIPIUS	N	-5.9253	0.0000	-5.9253	0.0000	I(0)
K	C y T	-3.0921	0.1151	-2.4834	0.3355	I(1)
dK	N	-5.0522	0.0000	-6.0641	0.0000	I(0)
L	C y T	-3.3421	0.0674	-3.0218	0.1326	I(1)
dL	N	-1.3398	0.1656	-8.8536	0.0000	I(0)
PElec	C	-2.2041	0.2065	-2.1037	0.2438	I(1)
dPElec	N	-5.6641	0.0000	-5.7479	0.0000	I(0)
Peleca	C	-1.9633	0.3024	-2.0583	0.2620	I(1)
dPEleca	N	-13.5927	0.0000	-14.7719	0.0000	I(0)
Peleci	C y T	-1.5606	0.8000	-1.1192	0.9192	I(1)
dPEleci	N	-6.0509	0.0000	-6.0308	0.0000	I(0)
Pelecs	C y T	-2.1942	0.4862	-1.8845	0.6537	I(1)
dPElecs	N	-1.6574	0.0918	-2.6637	0.0082	I(0)
Ppetro	C y T	-3.1011	0.1129	-2.5251	0.3156	I(1)
dPpetro	N	-7.2223	0.0000	-7.2223	0.0000	I(0)
PIB	C	2.4155	0.9961	-0.6704	0.8478	I(1)
dPIB	N	-4.1928	0.0001	-6.4309	0.0000	I(0)
PIBp	C	-0.9396	0.7708	-1.6352	0.4603	I(1)
dPIBp	N	-6.6439	0.0000	-25.1685	0.0000	I(0)
PIBs	C y T	-2.6501	0.2600	-2.0174	0.5832	I(1)
dPIBs	N	-4.6862	0.0000	-6.9485	0.0000	I(0)
PIBt	C	-0.2642	0.9246	-0.2417	0.9279	I(1)
dPIBt	N	-3.8370	0.0002	-5.7707	0.0000	I(0)
PIBUS	C y T	-2.3673	0.3938	-2.3723	0.3911	I(1)
dPIBUS	N	-7.3815	0.0000	-7.3815	0.0000	I(0)

Fuente: Elaboración propia.

Tipos de pruebas: C= Intercepto, C y T= Intercepto y Tendencia determinista; N= Nada; d indica la primera diferencia de la variable en cuestión.

Hipótesis nula prueba ADF: raíz unitaria; hipótesis nula prueba PP: raíz unitaria

Valores críticos a 1% y 5% por tipo de prueba: -3.51 y -2.59 (C); -4.07 y -3.46 (C y T); -2.59 y -1.94 (N), respectivamente.

Los resultados de las pruebas indican que todas las variables son integradas de orden uno a 5% de significancia en la mayoría de las pruebas. De este modo, antes de elegir el método de estimación es necesario el uso de un método de cointegración entre las variables endógenas de cada modelo. El gráfico de las variables en primera diferencia puede observarse en el anexo A4.

### 5.5 Estimaciones modelo 1

En el cuadro 5.3 se muestran los resultados de la prueba de cointegración de Johansen. La prueba se realizó con el VAR en niveles sin incluir variables exógenas. Para determinar la cantidad de rezagos se tomaron en cuenta los criterios de información AIC, SC y HQ, pero se aumentó el número de rezagos para que el modelo no tuviera problemas de autocorrelación, de estabilidad, ni de heterocedasticidad, de modo que el resultado de la prueba no fuera invalidado.

**Cuadro 5.3 Prueba de cointegración de Johansen**  
**Consumo de Electricidad y PIB**

<b>Prueba de la traza</b>				
H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico de trazo	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.0992	8.5365	15.4947	0.4100
Máximo 1	0.0093	0.7010	3.8415	0.4024
<b>Prueba de eigenvalores</b>				
H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico Eigen-Max	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.0992	7.8355	14.2646	0.3956
Máximo 1	0.0093	0.7010	3.8415	0.4024

Fuente: Elaboración propia.

-Los p-valores de Mackinnon-Haug-Michelis (1999). Se consideran 10 rezagos en la estimación.

Tanto la prueba de la traza como la de eigenvalores, muestran que no se rechaza la hipótesis nula de no cointegración entre el consumo de electricidad y el producto interno bruto.

### 5.5.1 Modelo 1: Estimación a partir de un VAR en diferencias

Debido a que no existe una relación de cointegración entre las variables endógenas, se debe utilizar un VAR en diferencias. El modelo en diferencias se ilustra de la siguiente manera:

$$dy_t = \Pi_0 + \Pi_1 dy_{t-1} + \Pi_2 dy_{t-2} + \dots + \Pi_p dy_{t-p} + \Omega_1 dX_{1t} + \dots + \Omega_4 dX_{4t_1} + \varepsilon_t \quad (5.9)$$

donde  $d$  indica que la variable en cuestión está expresada en su primera diferencia.

Para determinar con mayor precisión la relevancia de las variables exógenas propuestas, se estima primero el modelo sin variables exógenas, y se añaden recursivamente hasta incluir todas. La selección de la cantidad de rezagos en el modelo toma en cuenta los criterios de información, dando prioridad al número que pase las pruebas de diagnóstico y de estabilidad matemática.

Una vez realizadas todas las estimaciones, se selecciona el modelo que haya pasado las pruebas mencionadas anteriormente y que justifique la inclusión de las variables exógenas en esa estimación (coeficientes significativos e incremento de la  $R^2$  ajustada). La prueba de causalidad de Granger (prueba de Wald), las funciones de impulso respuesta, la descomposición de la varianza y las interpretaciones generales proceden de este modelo. La estimación completa del modelo 1 se encuentra en el anexo A1.

**Cuadro 5.4 Resumen de estimaciones Modelo 1 –VAR (9) en diferencias.**

		1.1		1.2		1.3		1.4		1.5		1.6				
		dPIB	dCE													
C		0.0079 (0.0022) [ 3.6443]*	0.0055 (0.0033) [ 1.6987]*	0.0044 (0.0015) [ 2.9381]*	0.0027 (0.0031) [ 0.8784]	0.0044 (0.0015) [ 2.9160]*	0.0027 (0.0031) [ 0.8672]	0.0046 (0.0015) [ 2.9902]*	0.0027 (0.0032) [ 0.8524]	0.0042 (0.0016) [ 2.6598]*	0.0029 (0.0033) [ 0.8671]	0.0043 (0.0016) [ 2.6510]*	0.0046 (0.0034) [ 1.3822]			
dK		-		0.3452 (0.0414) [ 8.3361]*	0.2788 (0.0862) [ 3.2361]*	0.3319 (0.0463) [ 7.1690]*	0.2504 (0.0963) [ 2.5996]*	0.3456 (0.0496) [ 6.9745]*	0.2510 (0.1037) [ 2.4201]	0.3436 (0.0494) [ 6.9530]*	0.2517 (0.1047) [ 2.4034]	0.3588 (0.0457) [ 7.8501]*	0.2631 (0.0936) [ 2.8114]			
dPIUS		-		-		0.0492 (0.0753) [ 0.6532]	0.1056 (0.1567) [ 0.6740]	0.0510 (0.0756) [ 0.6744]	0.1057 (0.1583) [ 0.6679]	0.0624 (0.0760) [ 0.8204]	0.1016 (0.1610) [ 0.6311]	-				
dL		-		-		-		-0.0798 (0.1006) [-0.7936]	-0.0033 (0.2104) [-0.0156]	-0.0864 (0.1004) [-0.8604]	-0.0009 (0.2127) [-0.0044]	-0.0785 (0.1024) [-0.7674]	0.0699 (0.2096) [ 0.3336]			
di		-		-		-		-		-0.0075 (0.0065) [-1.1611]	0.0027 (0.0137) [ 0.1959]	-0.0060 (0.0071) [-0.8538]	0.0148 (0.0145) [ 1.0216]			
dPIBUS		-		-		-		-		-		-0.0058 (0.0208) [-0.2779]	-0.0793 (0.0425) [-1.8658]*			
<b>Resumen de estimación</b>																
	R-squared	0.4918	0.4524	0.7755	0.5400	0.7772	0.5438	0.7799	0.5438	0.7854	0.5442	0.7830	0.5695			
	Adj. R-squared	0.3285	0.2764	0.6979	0.3811	0.6947	0.3749	0.6926	0.3631	0.6946	0.3513	0.6911	0.3874			
	Sum sq. resid	0.0060	0.0136	0.0026	0.0114	0.0026	0.0113	0.0026	0.0113	0.0025	0.0113	0.0025	0.0107			
	F-statistic	3.0108	2.5702	9.9983	3.3979	9.4207	3.2187	8.9406	3.0087	8.6515	2.8216	8.5269	3.1267			
	Mean dependent	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109			
	S.D. dependent	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183			
<b>Pruebas de residuos</b>																
	Autocorrelación (LM)	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>									
		9	0.8271	0.9348	9	0.8296	0.9344	9	0.7110	0.95	9	1.0109	0.9081	9	0.5167	0.9719
	Heterocasticidad (White)	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>									
		120.5347	108	0.193	122.1439	114	0.284	150.5615	120	0.0308	151.047	126	0.0636	166.5114	132	0.0226
	Normalidad (Jarque-Bera)	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>									
	1	0.6924	2	0.7074	0.2997	2	0.8608	0.0359	2	0.9822	0.0427	2	0.9789	0.0925	2	0.9548
	2	2.4889	2	0.2881	2.5162	2	0.2842	2.6887	2	0.2607	2.7565	2	0.252	2.3732	2	0.3053
	juntos	3.1813	4	0.528	2.8159	4	0.5891	2.7246	4	0.6049	2.7993	4	0.592	2.4657	4	0.6508
<b>Prueba de estabilidad matemática</b>		Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad		

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en ( ).

- t estadístico en [ ]

\* Coeficientes significativos al 5%.

El cuadro 5.4 muestra un resumen de las estimaciones del modelo 1. La columna 1.1 representa los resultados del escenario solo con el término constante, de la columna 1.2 a la 1.5 se añaden las variables exógenas de manera recursiva, y en la columna 1.6 se sustituye el índice de producción industrial de Estados Unidos por el producto interno bruto del mismo país.

Con el objetivo de identificar cuál escenario es la mejor representación del modelo 1, se evalúan los resultados obtenidos a partir de las pruebas de diagnóstico, de estabilidad matemática, de significancia global de los coeficientes, de significancia individual de los coeficientes de las variables exógenas, y la  $R^2$  ajustada. Se descartan los escenarios 1.3 y 1.5 debido a que presentan problemas de heterocedasticidad; y los escenarios 1.4 y 1.6, porque los coeficientes de las variables exógenas añadidas no son significativos de manera individual en ninguna de las ecuaciones del sistema; dejando como alternativa los escenarios 1.1 y 1.2. Finalmente, se selecciona el escenario 1.2 porque el coeficiente del capital es significativo de manera individual y la  $R^2$  ajustada es más alta, además de pasar las pruebas de diagnóstico, de estabilidad matemática y de significancia global.

En ambas ecuaciones de este escenario, el coeficiente del capital indica que la tasa de crecimiento del PIB y del consumo de electricidad responde positivamente al aumento en la tasa de crecimiento de la formación de capital. Este resultado es consistente con lo encontrado en otros estudios como el de Arshad, *et al.* (2007), Cheng (1999), y Gardner & Joutz (1996).

### **5.5.2 Prueba de Causalidad**

En los modelos VAR y VEC, la causalidad de Granger se mide con la prueba de Wald, la cual evalúa si los coeficientes de las variables endógenas rezagadas son diferentes de cero. En otras palabras, el consumo de electricidad causa en sentido de Granger al PIB si los rezagos de la primera ayudan en el pronóstico de la segunda, y viceversa.

El cuadro 5.5 muestra que solo se rechaza la hipótesis nula de que el consumo de electricidad no causa en sentido de Granger al PIB. Es decir, existe una causalidad unidireccional que va del consumo de electricidad al PIB.

## Cuadro 5.5 Causalidad de Granger VAR/ Prueba de Wald

### Consumo de Electricidad y PIB

Hipótesis nula:	Chi-sq	gl	Prob.
DPIB no causa en sentido de Granger a DCE	4.478539	9	0.8772
DCE no causa en sentido de Granger a DPIB	25.72649	9	0.0023

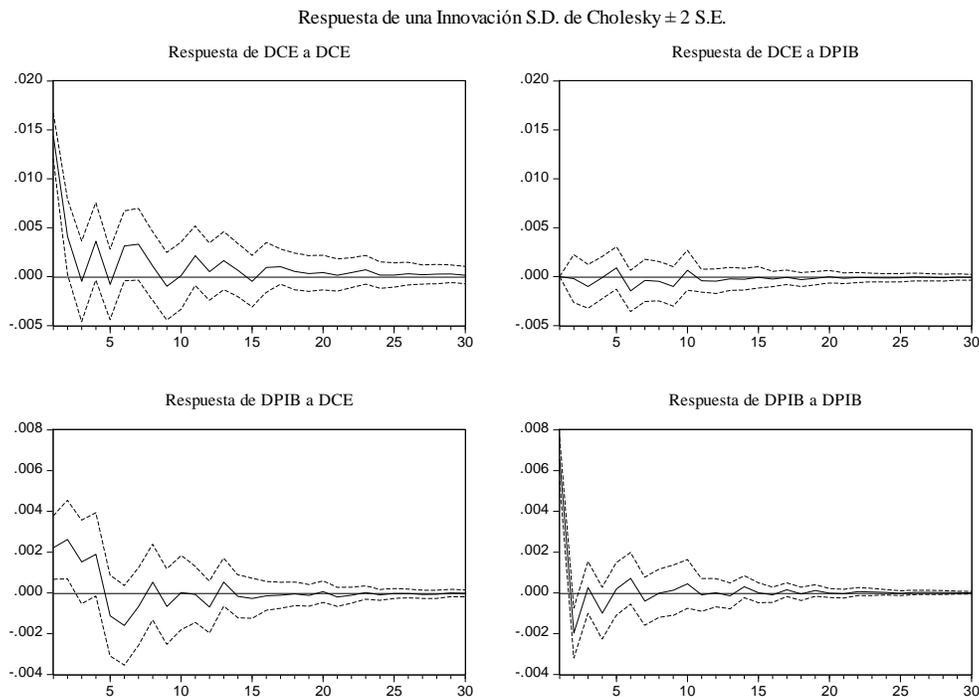
Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes en las ecuaciones de corto plazo (véase anexo A1) sugieren que CE es posiblemente exógena (y no endógena) y por ello no se encuentra significancia estadística en los coeficientes. Por otra parte, en la ecuación del PIB se observan coeficientes significativos del consumo de electricidad, indicando la existencia de una posible relación de causalidad.

### 5.5.3 Funciones de Impulso Respuesta

Se utilizan las funciones de impulso respuesta para identificar el efecto que un *shock* en el término de error tiene sobre las variables endógenas del modelo VAR. En el gráfico 5.2 se presentan las respuestas del consumo de electricidad y del PIB ante un *shock* de una desviación estándar en los residuales, considerando un periodo de treinta trimestres hacia el futuro.

### Gráfico 5.2 Funciones de Impulso Respuesta – Modelo 1



Fuente: Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: DCE DPIB

En los cuadros superiores se muestra la respuesta del consumo de electricidad ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas. El cuadro superior izquierdo evidencia un efecto positivo en los primeros periodos por un *shock* en el consumo de electricidad, pero a partir del tercer periodo el efecto no es significativo. Por otro lado, el cuadro superior derecho señala que un *shock* en el PIB un efecto reducido en el consumo de electricidad.

La respuesta del PIB ante *shocks* en las variables endógenas se analiza en los cuadros inferiores. El cuadro inferior izquierdo evidencia la respuesta del *shock* en el consumo de electricidad, la cual es positiva en los primeros periodos pero se vuelve negativa a partir del cuarto periodo, similar a la respuesta del consumo de electricidad. Finalmente, el cuadro inferior derecho muestra que el efecto de un *shock* en el PIB es positivo en el primer periodo, negativo en el segundo, y nulo en los periodos posteriores

#### 5.5.4 Descomposición de la Varianza

El análisis de descomposición de la varianza ayuda a complementar la interpretación de los resultados que se obtuvieron a partir de las innovaciones en los residuales.

**Cuadro 5.6 Descomposición de la Varianza – Modelo 1**

Descomposición de la varianza de DCE:				Descomposición de la varianza de DPIB:			
Periodo	S.E.	DCE	DPIB	Periodo	S.E.	DCE	DPIB
1	0.0144	100.00	0.00	1	0.0069	10.32	89.68
2	0.0150	99.98	0.02	2	0.0077	20.13	79.87
3	0.0150	99.53	0.47	3	0.0078	23.12	76.88
4	0.0154	99.56	0.44	4	0.0081	26.97	73.03
5	0.0155	99.22	0.78	5	0.0082	28.32	71.68
6	0.0159	98.42	1.58	6	0.0084	30.71	69.29
7	0.0162	98.43	1.57	7	0.0084	31.09	68.91
8	0.0163	98.35	1.65	8	0.0084	31.36	68.64
9	0.0163	97.99	2.01	9	0.0084	31.78	68.22
10	0.0163	97.84	2.16	10	0.0085	31.69	68.31

Fuente: Elaboración propia.

La descomposición de la varianza del consumo de electricidad se muestra en la parte izquierda del cuadro 5.6. En el primer periodo el *shock* en las innovaciones del consumo de electricidad explica el 100 por ciento de la varianza en la misma variable. El porcentaje de la varianza atribuida por un *shock* en el PIB es nula en el primer periodo, pero a medida que éstos transcurren asciende hasta llegar a un valor de 2.16 por ciento en el décimo periodo. En cuanto a la descomposición de la

varianza del PIB, el *shock* en el consumo de electricidad explica el 10.32 por ciento de la variación en el primer periodo, mientras que el *shock* en el PIB provoca 89.68 por ciento. Conforme avanzan los periodos, el porcentaje de la variación atribuida al *shock* en el consumo de electricidad aumenta hasta llegar a 31.69 en el décimo periodo; y el del PIB desciende hasta 68.31.

## 5.6 Estimaciones modelo 2

Como en el modelo anterior, la prueba de cointegración de Johansen se aplica a las variables endógenas del modelo 2 debido a su naturaleza estacionaria en primera diferencia. La prueba se realizó con el VAR en niveles sin incluir variables exógenas. La cantidad de rezagos se seleccionó considerando los criterios de información, pero priorizando que no hubieran problemas de autocorrelación, de estabilidad ni de heterocedasticidad. Los resultados se muestran en el cuadro a continuación:

**Cuadro 5.7 Prueba de cointegración de Johansen**  
**Precio de la electricidad, Precio de petroquímicos y PIB**

<b>Prueba de la traza</b>				
H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico de trazo	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.4249	50.2529	29.7971	0.0001
Máximo 1	0.0688	7.1068	15.4947	0.5652
Máximo 2	0.0197	1.5508	3.8415	0.2130
<b>Prueba de eigenvalores</b>				
H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico Eigen-Max	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.4249	43.1461	21.1316	0.0000
Máximo 1	0.0688	5.5560	14.2646	0.6706
Máximo 2	0.0197	1.5508	3.8415	0.2130

Fuente: Elaboración propia.

-Los p-valores de Mackinnon-Haug-Michelis (1999). Se consideran 7 rezagos en la estimación.

La prueba de la traza y la de eigenvalores muestran que no se rechaza la hipótesis nula de que hay máximo una ecuación de cointegración.

### 5.6.1 Modelo 2: Estimación a partir de un VEC

La existencia de una ecuación de cointegración implica que la estimación se debe hacer utilizando un VEC. El modelo se ilustra de la siguiente manera:

$$dy_t = \Theta y_{t-1} + \Psi_1 dy_{t-1} + \dots + \Psi_{p-1} dy_{t-p+1} + \Phi_1 dX_{1t} + \dots + \Phi dX_{4t} + \varepsilon_t \quad (5.10)$$

$$dy_t = \begin{bmatrix} dPIB_t \\ dPElec_t \\ dPpetro_t \end{bmatrix} \quad \Theta_m = \begin{bmatrix} \Theta^{dPIB} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta^{dPElec} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta^{dPpetro} \end{bmatrix}$$

$$y_{t-1} = \begin{bmatrix} dPIB_{t-1} \\ dPElec_{t-1} \\ dPpetro_{t-1} \end{bmatrix} \quad \Psi_i = \begin{bmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{12} & \dots & \Psi_{1,p-1} \\ \Psi_{21} & \Psi_{22} & \dots & \Psi_{2,p-1} \\ \Psi_{31} & \Psi_{32} & \dots & \Psi_{3,p-1} \end{bmatrix}$$

$$dy_{t-j} = \begin{bmatrix} dy_{t-1} \\ dy_{t-2} \\ \dots \\ dy_{t-p+1} \end{bmatrix} \quad \Phi_k = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \Phi_{14} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \Phi_{24} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \Phi_{34} \end{bmatrix}$$

$$X_r = \begin{bmatrix} dK_t \\ dUS_t \\ dL_t \\ di_t \end{bmatrix} \quad \varepsilon_j = \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{dPIB} \\ \varepsilon_t^{dPElec} \\ \varepsilon_t^{dPpetro} \end{bmatrix}$$

donde  $dy_t$  es un vector (3x1) de variables endógenas expresadas en su primera diferencia,  $\Theta_m$  es una matriz identidad de coeficientes (3x3),  $y_{t-1}$  es un vector de ecuaciones de cointegración,  $\Psi_i$  es una matriz de coeficientes de las variables endógenas en su primera diferencia rezagadas,  $\Phi_k$  es un vector de coeficientes (3x4) de la variable exógena en su primera diferencia, y  $\varepsilon_t$  es un vector (3x1) de errores.

Para determinar la relevancia de las variables exógenas y el número de rezagos se adopta la misma metodología que en el modelo 1. Se seleccionará el modelo que haya pasado las pruebas de diagnóstico y estabilidad matemática, y que justifique la introducción de las variables exógenas. Con este modelo se realizará la prueba de causalidad, las funciones de impulso respuesta, la descomposición de la varianza, y un pronóstico que compara el valor estimado por el VEC con los datos originales de los últimos cinco años. La estimación completa del modelo se encuentra en el anexo A2.

**Cuadro 5.8 Resumen de estimaciones Modelo 2 – VEC (7).**

	2.1			2.2			2.3			2.4			2.5			2.6		
<b>Ecuación de Cointegración</b>	CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1		
	1			1			1			1			1			1		
PIB (-1)																		
PElec (-1)	-0.1287 (0.0581) [-4.6485]*			-0.1706 (0.0426) [-4.4890]*			-0.1729 (0.0398) [-4.3449]*			-0.1826 (0.0391) [-4.6727]*			-0.1511 (0.0500) [-3.0199]*			-0.1428 (0.0509) [-2.8071]*		
Ppetro(-1)	-0.1961 (0.0097) [-20.2635]*			-0.1907 (0.0133) [-14.3503]*			-0.1888 (0.0137) [-13.8064]*			-0.1843 (0.0133) [-13.8104]*			-0.1964 (0.0164) [-12.0026]*			-0.2103 (0.0168) [-12.4919]*		
C	-8.993			-8.9971			-8.9997			-9.0053			-8.9906			-8.9714		
<b>Error de Corrección:</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>
ECM(-1)	-0.2011 (0.0581) [-3.4594]*	0.1421 (0.2510) [ 0.5662]	2.1505 (0.4821) [ 4.4609]*	0.0097 (0.0426) [ 0.2280]	0.5521 (0.2442) [ 2.2607]*	2.3501 (0.4893) [ 4.8034]*	-0.0358 (0.0435) [-0.8225]	0.5919 (0.2671) [ 2.2160]*	2.0050 (0.5201) [ 3.8553]*	-0.0319 (0.0444) [-0.71816]	0.7145 (0.2611) [ 2.73700]	2.0163 (0.5302) [ 3.8026]*	-0.0490 (0.0507) [-0.9676]	0.4230 (0.2939) [ 1.4391]	1.6047 (0.5828) [ 2.7531]*	-0.0224 (0.0448) [-0.4995]	0.2369 (0.2483) [ 0.9541]	1.7403 (0.4979) [ 3.4953]*
C	0.0075 (0.0027) [ 2.7620]*	-0.0029 (0.0117) [-0.2494]	0.0129 (0.0225) [ 0.5710]	0.0039 (0.0019) [ 2.0156]*	-0.0098 (0.0111) [-0.8886]	0.0097 (0.0221) [ 0.4395]	0.0036 (0.0018) [ 1.9600]*	-0.0099 (0.0112) [-0.8882]	0.0069 (0.0217) [ 0.3162]	0.0036 (0.0019) [ 1.9420]*	-0.0066 (0.0110) [-0.6066]	0.0084 (0.0223) [ 0.3791]	0.0042 (0.0021) [ 2.0049]*	0.0040 (0.0121) [ 0.3301]	0.0293 (0.0240) [ 1.2231]	0.0040 (0.0022) [ 1.8287]*	0.0057 (0.0121) [ 0.4698]	0.0449 (0.0242) [ 1.8566]*
dK	-			0.2899 (0.0371) [ 7.8086]*	0.6111 (0.2128) [ 2.8722]*	0.5776 (0.4262) [ 1.3552]	0.2420 (0.0389) [ 6.2219]*	0.6432 (0.2387) [ 2.6944]*	0.2061 (0.4648) [ 0.4433]	0.2453 (0.0403) [ 6.0916]*	0.7661 (0.2369) [ 3.2342]*	0.2331 (0.4811) [ 0.4845]	0.2503 (0.0436) [ 5.7395]*	0.8943 (0.2530) [ 3.5356]*	0.6316 (0.5016) [ 1.2591]	0.3129 (0.0425) [ 7.3568]*	0.8569 (0.2357) [ 3.6352]*	0.8072 (0.4726) [ 1.7079]*
dPIUS	-			-			0.2418 (0.0858) [ 2.8187]*	-0.1316 (0.5099) [-0.2500]	1.8838 (1.0250) [ 1.8377]*	0.2415 (0.0867) [ 2.7866]*	-0.0887 (0.5099) [-0.1738]	1.9270 (1.0357) [ 1.8605]*	0.241092 -0.0875 [ 2.7554]*	-0.1060 (0.5076) [-0.2089]	1.7506 (1.0065) [ 1.7392]*	-		
dL	-			-			-			-0.0308 (0.1354) [-0.2276]	-1.5957 (0.7894) [-2.0038]*	-0.6516 (1.6174) [-0.4028]	-0.0355 (0.1361) [-0.2609]	-1.6280 (0.7894) [-2.0622]*	-0.8073 (1.5655) [-0.5156]	-0.0373 (0.1441) [-0.2591]	-1.6137 (0.7983) [-2.0214]*	-0.3361 (1.6006) [-0.2100]
di	-			-			-			-			0.0045 (0.0082) [ 0.5520]	0.0909 (0.0474) [ 1.9181]*	0.1973 (0.0940) [ 2.1000]*	0.0010 (0.0093) [ 0.1111]	0.0926 (0.0514) [ 1.8028]*	0.2786 (0.1030) [ 2.7056]*
dPIBUS	-			-			-			-			-			0.0340 (0.0259) [ 1.3132]	0.0528 (0.1433) [ 0.3680]	-0.3153 (0.2874) [-1.0972]
<b>Resumen de estimación</b>																		
R-squared	0.4217	0.4411	0.3966	0.7183	0.5202	0.4365	0.7556	0.5227	0.4703	0.7556	0.5613	0.4704	0.7578	0.5774	0.5135	0.7304	0.5706	0.4947
Adj. R-squared	0.1861	0.2134	0.1507	0.5960	0.3120	0.1920	0.6428	0.3023	0.2259	0.6358	0.3463	0.2107	0.6319	0.3576	0.2606	0.5902	0.3473	0.2320
Sum sq. resid	0.0095	0.1774	0.6543	0.0046	0.1523	0.6110	0.0040	0.1515	0.5743	0.0040	0.1392	0.5743	0.0040	0.1341	0.5275	0.0044	0.1363	0.5479
F-statistic	1.7901	1.9369	1.6130	5.8749	2.4987	1.7850	6.6997	2.3723	1.9240	6.3069	2.6104	1.8117	6.0174	2.6270	2.0301	5.2094	2.5554	1.8828
Mean dependent	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0134	0.0284	0.0060	0.0060	0.0134	0.0284
S.D. dependent	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0646	0.1194	0.0147	0.0147	0.0646	0.1194
<b>Pruebas de residuos</b>																		
Autocorrelación (LM)	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>
	7	4.7239	0.8577	7	6.201042	0.7196	7	13.24377	0.1519	7	13.5539	0.1391	7	18.32768	0.0316	7	12.20922	0.2018
Heterocedasticidad (White)	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>
	275.402	264	0.3022	302.9289	276	0.1273	325.7757	288	0.0621	335.7498	300	0.076	344.5632	312	0.099	328.3547	312	0.2514
Normalidad (Jarque-Bera)	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>
1	2.9378	2	0.2302	0.4713	2	0.7900	4.9428	2	0.0845	4.8067	2	0.0904	5.1159	2	0.0775	1.4772	2	0.4778
2	15.7896	2	0.0004	20.5809	2	0.0000	11.4896	2	0.0032	10.7551	2	0.0046	14.9438	2	0.0006	27.0063	2	0.0000
3	1.6823	2	0.4312	0.4394	2	0.8028	0.4609	2	0.7942	0.4647	2	0.7927	1.3162	2	0.5178	4.3488	2	0.1137
juntos	20.4096	6	0.0023	21.4916	6	0.0015	16.8933	6	0.0097	16.0265	6	0.0136	21.3759	6	0.0016	32.8323	6	0.0000
<b>Prueba de estabilidad matemática</b>	Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad		

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en ( ); t estadístico en [ ].

\* denota coeficientes significativos al 5%.

El cuadro 5.8 muestra un resumen de las estimaciones del modelo 2. La columna 2.1 representa los resultados del escenario solo con el término constante, de la columna 2.2 a la 2.5 se añaden las variables exógenas de manera recursiva, y en la columna 2.6 se sustituye el índice de producción industrial de Estados Unidos por el producto interno bruto del mismo país.

Se selecciona el escenario 2.4 debido a que pasa las pruebas de autocorrelación, heterocedasticidad, estabilidad matemática y significancia global. Asimismo, todas las variables exógenas incluidas son significativas individualmente en al menos una de las ecuaciones y la  $R^2$  ajustada es la más alta en la ecuación del precio de la electricidad considerando los modelos que no tienen problemas de autocorrelación. En cuanto a las ecuaciones del producto interno bruto y del precio de los productos petroquímicos, su  $R^2$  ajustada difiere solamente 2% en comparación con las más altas.

En este escenario el producto se ajusta positivamente a la formación de capital y a la actividad industrial de Estados Unidos; el precio de la electricidad responde positivamente a la formación de capital y negativamente a la población ocupada; y el precio de los productos petroquímicos se encuentra correlacionado positivamente al índice de producción industrial. Estos resultados coinciden con lo encontrado en estudios como el de Álvarez & Valencia (2015), Arshad, *et al.* (2007), Caballero & Galindo (2007), entre otros. El término ECM (-1) representa la velocidad de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo; su coeficiente es negativo únicamente en la ecuación del PIB indicando una relación causal de largo plazo que va del precio de la electricidad y del precio de los productos petroquímicos hacia el PIB. En la ecuación de largo plazo, los coeficientes del precio de la electricidad y del precio de los productos petroquímicos son significativos y representan las elasticidades de largo plazo. Los resultados sugieren que tanto el precio de la electricidad como el precio de los petroquímicos están asociados positivamente con el PIB, con elasticidades de 0.1826 y de 0.1843, respectivamente. La elasticidad precio de los petroquímicos es consistente con la hallada por Álvarez & Valencia (2015); sin embargo, la elasticidad precio de la electricidad, aunque concuerda en la magnitud, difiere en el signo. Esta diferencia puede atribuirse a que los datos estadísticos para el periodo de análisis muestran que los precios de la electricidad y los petroquímicos han aumentado junto con el crecimiento de la producción nacional, por ello la relación se mantiene positiva. En cuanto a la ecuación de corto plazo (véase anexo A2), los coeficientes de los precios de la energía (eléctrica y petroquímica) no son

significativos en la ecuación del PIB, lo que sugiere que no hay una relación de corto plazo entre las variables.

### 5.6.2 Prueba de Causalidad

La causalidad de corto plazo entre el precio de la electricidad, el precio de los productos petroquímicos y el PIB se examina con la prueba de Wald. Los resultados se muestran a continuación:

**Cuadro 5.9 Causalidad de Granger VEC/ Prueba de Wald – Modelo 2**  
**Precio de la electricidad, Precio de productos petroquímicos y PIB**

<b>Hipótesis nula:</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>
DPElec no causa en sentido de Granger a DPIB	2.7155	7	0.9100
DPpetro no causa en sentido de Granger a DPIB	0.7014	7	0.9983
DPIB no causa en sentido de Granger a DPElec	4.9347	7	0.6679
DPpetro no causa en sentido de Granger a DPElec	24.0561	7	0.0011
DPIB no causa en sentido de Granger a DPpetro	4.9238	7	0.6693
DPElec no causa en sentido de Granger a DPpetro	7.8858	7	0.3428

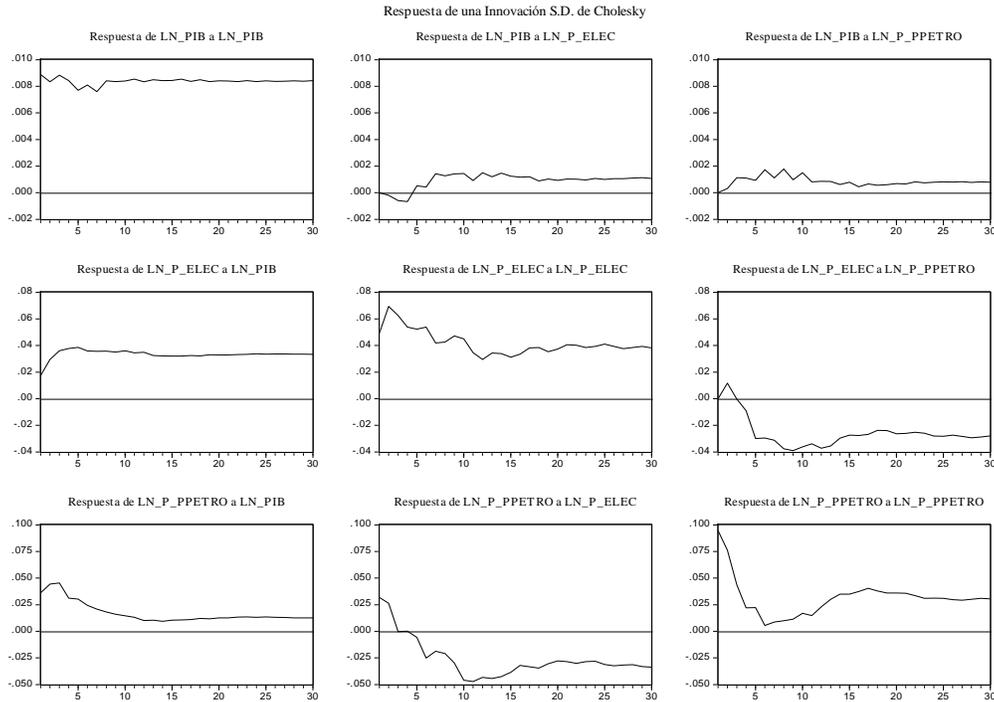
Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 5.9 muestra que la única relación de causalidad en el sentido de Granger encontrada va del precio de los productos petroquímicos hacia el precio de la electricidad.

### 5.6.3 Funciones de Impulso Respuesta

Aunque las funciones impulso respuesta que se calculan a partir de un VEC no pueden interpretarse significativamente, se presentan los resultados sin pretender hacer inferencias. El gráfico 5.3 muestra las respuestas del precio de la electricidad, precio de los productos petroquímicos y del PIB ante un *shock* de una desviación estándar en los residuales, considerando un periodo de treinta trimestres hacia el futuro.

### Gráfico 5.3 Funciones de Impulso Respuesta – Modelo 2



Fuente: Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PIB PElec Ppetro

En los cuadros de la primera fila se muestra la respuesta del PIB ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas. Cuando el *shock* proviene del PIB, el efecto es positivo y perdura en el tiempo; cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad, el efecto no es significativo en el primer periodo, luego es negativo, y a partir del quinto es positivo; y cuando el *shock* proviene del precio de los productos petroquímicos, hay un efecto no significativo en el primer periodo, pero a partir del segundo es positivo.

La respuesta del precio de la electricidad ante *shocks* en los residuos de las tres variables endógenas se muestra en la segunda fila. Cuando el *shock* proviene del PIB, el efecto es positivo y perdura en el tiempo; cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad, el efecto también es positivo en los periodos analizados; y cuando el *shock* proviene del precio de los productos petroquímicos, el efecto es no significativo en el primer periodo, después es positivo, y a partir del cuarto es negativo.

Finalmente, la respuesta del precio de los productos petroquímicos ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas se analiza en los cuadros de la tercera fila. Cuando el *shock* proviene

del PIB, el efecto es positivo en los treinta periodos; cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad, el efecto es positivo en los primeros periodos pero a partir del quinto es negativo; y cuando el *shock* proviene del precio de los productos petroquímicos, el efecto es positivo y se mantiene en el periodo analizado.

#### 5.6.4 Descomposición de la Varianza

Para complementar el análisis anterior, se presenta la descomposición de la varianza de las tres variables endógenas del modelo.

**Cuadro 5.10 Descomposición de la Varianza – Modelo 2**

Descomposición de la varianza de DPIB:					Descomposición de la varianza de DPElec:				
Periodo	S.E.	dPIB	dPElec	dPpetro	Periodo	S.E.	dPIB	dPElec	DPpetro
1	0.0089	100.00	0.00	0.00	1	0.0522	11.12	88.88	0.00
2	0.0122	99.91	0.02	0.07	2	0.0924	13.74	84.68	1.59
3	0.0151	99.22	0.17	0.60	3	0.1173	17.98	81.04	0.98
4	0.0173	98.86	0.28	0.86	4	0.1348	21.47	77.33	1.19
5	0.0190	98.73	0.31	0.96	5	0.1526	23.17	72.03	4.80
6	0.0207	98.21	0.30	1.49	6	0.1684	23.57	69.43	7.01
7	0.0222	97.76	0.68	1.56	7	0.1798	24.57	66.27	9.17
8	0.0238	97.21	0.87	1.92	8	0.1920	25.02	63.08	11.90
9	0.0253	97.06	1.09	1.85	9	0.2045	24.98	60.88	14.14
10	0.0267	96.77	1.26	1.97	10	0.2156	25.28	59.17	15.55

**Descomposición de la varianza de DPpetro:**

Periodo	S.E.	dPIB	dPElec	dPpetro
1	0.1061	11.60	9.04	79.36
2	0.1404	16.58	8.68	74.74
3	0.1539	22.50	7.23	70.28
4	0.1586	25.06	6.81	68.13
5	0.1630	27.13	6.56	66.31
6	0.1669	28.04	8.54	63.43
7	0.1694	28.70	9.51	61.79
8	0.1719	28.97	10.71	60.32
9	0.1756	28.60	13.15	58.25
10	0.1829	27.01	18.43	54.56

Fuente: Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PIB PElec Ppetro

La descomposición de la varianza del PIB muestra que, en el primer periodo, un *shock* en las innovaciones del PIB explica el 100 por ciento de la varianza en la misma variable. En el décimo periodo, el *shock* explica 96.77 por ciento de la varianza. Por otra parte, el porcentaje de la varianza atribuida por un *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad y de los productos petroquímicos es nula en el primer periodo, pero aumenta hasta 1.26 y 1.97 por ciento en el décimo periodo, respectivamente. La descomposición de la varianza del precio de la electricidad muestra que un *shock* en las innovaciones del PIB explica el 11.12 por ciento de la varianza en el primer periodo, y el 25.28 por ciento en el décimo; un *shock* en el precio de la electricidad, 88.88 en el primer periodo y 59.17 en el décimo; y un *shock* en el precio de los productos petroquímicos, 1.59 en el segundo periodo y 15.55 en el décimo. Por último, la descomposición de la varianza del precio de los productos petroquímicos muestra que un *shock* en el PIB explica el 11.60 por ciento de la varianza de la variable en el primer periodo, y el 27.01 por ciento en el décimo periodo; un *shock* en el precio de la electricidad, 9.04 en el primer periodo y 18.43 en el décimo; y un *shock* en el precio de los productos petroquímicos, 79.36 en el primer periodo y 54.56 en el décimo.

### 5.7 Estimaciones modelo 3

Dado que el modelo 3 se compone de una estimación por cada sector económico, se aplica la prueba de cointegración de Johansen a las variables endógenas de cada uno de ellos (los resultados se presentan en el anexo A3.). La prueba se realizó con el mismo criterio de selección de rezagos del VAR. Los resultados muestran que no hay una relación de cointegración entre las variables endógenas del sector primario, pero sí la hay entre las variables endógenas del sector secundario y terciario.

#### 5.7.1 Sector Primario: Estimación a partir de un VAR en diferencias.

La ausencia de cointegración entre el precio de la electricidad agrícola y el producto interno bruto primario implica que la estimación debe realizarse utilizando un VAR en diferencias. El modelo se ilustra de la siguiente manera:

$$dy_t = A_0 + A_1 dy_{t-1} + A_2 dy_{t-2} + \dots + A_p dy_{t-p} + BdIPIUS_{1t} + \varepsilon_t \quad (5.11)$$

donde  $d$  indica que la variable en cuestión está expresada en su primera diferencia. La única variable exógena que se incluye es el índice de producción industrial de Estados Unidos. La

selección de la cantidad de rezagos en el modelo toma en cuenta los criterios de información, dando prioridad al número que pase las pruebas de diagnóstico y de estabilidad matemática.

### 5.7.2 Sector Secundario y Terciario: Estimación a partir de un VEC.

En cuanto al sector secundario y terciario, la presencia de una relación de cointegración entre el precio de la electricidad industrial y el producto interno bruto secundario, y entre el precio de la electricidad en los servicios y el producto interno bruto terciario, establece que las estimaciones deben efectuarse con un VEC. En ambos casos, el modelo se representa de la siguiente manera:

$$dy_t = Cy_{t-1} + \Gamma_1 dy_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} dy_{t-p+1} + BdIPIUS_t + u_t \quad (5.11)$$

$$dy_t = \begin{bmatrix} dPIB_t \\ dPElec_t \end{bmatrix}$$

$$C_m = \begin{bmatrix} C^{dPIB} & 0 \\ 0 & C^{dPElec} \end{bmatrix} \quad y_{t-1} = \begin{bmatrix} dPIB_{t-1} \\ dPElec_{t-1} \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_i = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \dots & \Gamma_{1,p-1} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \dots & \Gamma_{2,p-1} \end{bmatrix} \quad dy_{t-j} = \begin{bmatrix} dy_{t-1} \\ dy_{t-2} \\ \dots \\ dy_{t-p+1} \end{bmatrix}$$

$$B_k = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \end{bmatrix} \quad u_t = \begin{bmatrix} u_t^{dPIB} \\ u_t^{dPElec} \end{bmatrix}$$

donde  $dy_t$  es un vector de variables endógenas expresadas en su primera diferencia,  $C$  es una matriz identidad de coeficientes (2x2),  $y_{t-1}$  es un vector de ecuaciones de cointegración,  $\Gamma_i$  es una matriz de coeficientes de las variables endógenas en su primera diferencia rezagadas,  $B_k$  es un vector de coeficientes (2x1) de la variable exógena en su primera diferencia, y  $u_t$  es un vector (2x1) de errores.

**Cuadro 5.11 Resumen de estimaciones por sectores económicos**

	Primario			Secundario			Terciario								
<b>Tipo de Modelo</b>	VAR			VEC			VEC								
Número de rezagos	7			12			10								
<b>Ecuación de Cointegración</b>	-			CointEq1			CointEq1								
PIB(-1)	-			1			1								
PElec(-1)	-			-0.1941 (0.0219) [-8.8697]*			-0.5795 (0.0624) [-9.2810]*								
C	-			-8.3389			-8.5864								
	<b>d(PIBp)</b>	<b>d(PElecA)</b>		<b>d(PIBs)</b>	<b>d(PElecI)</b>		<b>d(PIBt)</b>	<b>d(PElecS)</b>							
ECM(-1)	-			-0.0885 (0.0920) [-0.9621]			0.7217 (0.3474) [ 2.0775]*			-0.0065 (0.0422) [-0.1540]			0.1681 (0.0577) [ 2.9161]*		
C	0.0023 (0.0022) [ 1.0468]	0.0207 (0.0319) [ 0.6469]		0.0000 (0.0037) [-0.0085]	0.0306 (0.0141) [ 2.1745]*		0.0055 (0.0054) [ 1.0116]	0.0233 (0.0074) [ 3.1398]*							
dIPIUS	0.3533 (0.0959) [ 3.6839]*	-0.7383 (1.3771) [-0.5361]		0.4455 (0.1237) [ 3.6007]*	0.9873 (0.4675) [ 2.1119]*		0.4317 (0.0819) [ 5.2712]*	-0.0220 (0.1119) [-0.1962]							
<b>Resumen de estimación</b>															
R-squared	0.3992	0.3476		0.4680	0.4880		0.5215	0.6702							
Adj. R-squared	0.2514	0.1871		0.1606	0.1922		0.3151	0.5280							
Sum sq. resids	0.0099	2.0389		0.0080	0.1145		0.0046	0.0085							
F-statistic	2.7018	2.1664		1.5227	1.6496		2.5265	4.7113							
Mean dependent	0.0060	0.0104		0.0054	0.0246		0.0079	0.0213							
S.D. dependent	0.0147	0.2028		0.0146	0.0561		0.0114	0.0188							
<b>Pruebas de residuos</b>															
Autocorrelación (LM)	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>	<b>Rezago</b>	<b>LM-Stat</b>	<b>Prob.</b>						
	7	0.4818	0.9753	12	1.4767	0.8308	10	3.7029	0.4477						
Heterocedasticidad (White)	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>						
	112.8629	90	0.0519	163.2958	156	0.3284	140.8728	132	0.2826						
Normalidad (Jarque-Bera)	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>	<b>JB</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>						
1	962.1206	2	0.0000	4.7861	2	0.0913	0.4202	2	0.8105						
2	18.7926	2	0.0001	1.4639	2	0.4810	0.9618	2	0.6182						
juntos	980.9132	4	0.0000	6.2501	4	0.1812	1.3821	4	0.8473						
<b>Prueba de estabilidad matemática</b>	Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad			Se satisface la estabilidad								

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en ( ); t estadístico en [ ].

\* denota coeficientes significativos al 5%.

En el cuadro anterior se muestra el resumen de las estimaciones del modelo 3. Los resultados indican que la producción de los tres sectores económicos y el precio de la electricidad industrial responden positivamente al índice de producción industrial de Estados Unidos. En los modelos VEC del sector secundario y del terciario, el coeficiente de ECM (-1) sugiere que existe una causalidad de largo plazo que va del precio de la electricidad hacia el PIB en ambos sectores. En las ecuaciones de largo plazo, los coeficientes del precio de la electricidad son significativos y representan las elasticidades de largo plazo del sector industrial y del sector terciario. Los resultados sugieren que tanto el precio de la electricidad industrial como el precio de la electricidad en los servicios están asociados positivamente con la producción de cada sector y sus elasticidades son de 0.1941 y de 0.5795, respectivamente. Por otra parte, las ecuaciones de corto plazo (véase anexo A3) no muestran una relación significativa entre los precios y la producción de cada sector económico. Todas las estimaciones pasaron las pruebas de autocorrelación, estabilidad matemática, heterocedasticidad y significancia global.

### 5.7.3 Pruebas de Causalidad

Se realiza la prueba de Wald para determinar la causalidad de corto plazo entre las variables endógenas de cada una de las estimaciones por sectores.

**Cuadro 5.12 Causalidad de Granger VEC/ Prueba de Wald  
Precio de la electricidad por sector y PIB por sector**

<b>Hipótesis nula:</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>gl</b>	<b>Prob.</b>
<b>Sector Primario</b>			
PIBp no causa en sentido de Granger a PElecA	7.2924	7	0.3991
PElecA no causa en sentido de Granger a PIBp	4.8856	7	0.6739
<b>Sector Secundario</b>			
PIBs no causa en sentido de Granger a PElecI	14.3774	12	0.2773
PElecI no causa en sentido de Granger a PIBs	4.7054	12	0.9671
<b>Sector Terciario</b>			
PIBt no causa en sentido de Granger a PElecS	8.8620	10	0.5452
PElecS no causa en sentido de Granger a PIBt	5.8353	10	0.8289

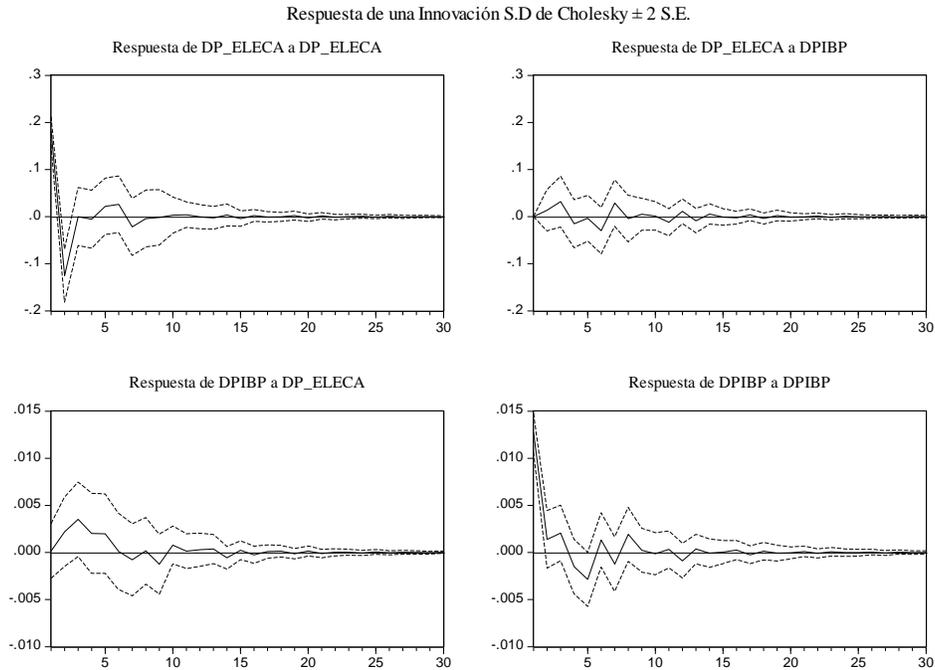
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que no existe una relación de causalidad en el sentido de Granger entre el precio de la electricidad y el PIB en ninguno de los tres sectores económicos.

### 5.7.4 Funciones de Impulso Respuesta

A continuación se presentan las funciones de impulso respuesta de cada uno de los sectores económicos considerando 30 periodos en el futuro. Debido a que las funciones del sector secundario y terciario se estimaron con un VEC, se muestran los resultados con propósitos ilustrativos únicamente.

**Gráfico 5.4 Funciones de Impulso Respuesta – Sector primario**

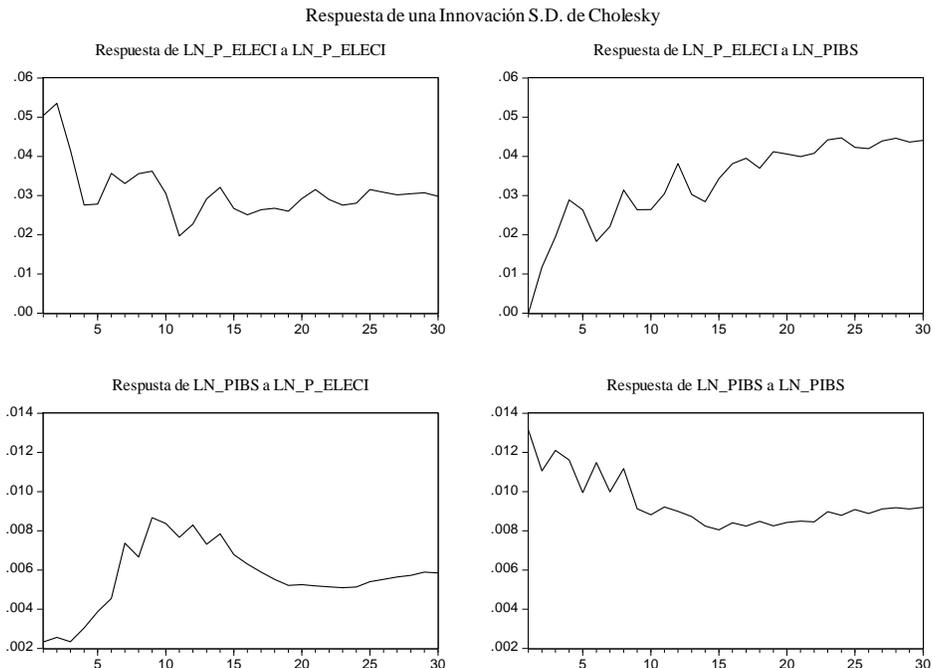


Fuente:Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PElecA PIBp

Las funciones impulso respuesta del sector primario se ilustran con el gráfico 5.5. En los cuadros superiores se muestra la respuesta del precio de la electricidad agrícola ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas. Cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad agrícola, hay un efecto positivo en el primer periodo, negativo en el segundo, y nulo en los periodos posteriores. Cuando el *shock* proviene del PIB primario, el efecto no es significativo en los periodos analizados. Por otra parte, la respuesta del PIB primario se analiza en los cuadros inferiores. Cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad agrícola, el efecto no es significativo. Cuando el *shock* proviene del PIB primario, el efecto es positivo únicamente en el primer periodo pero converge a cero a partir del segundo.

## Gráfico 5.5 Funciones de Impulso Respuesta – Sector secundario

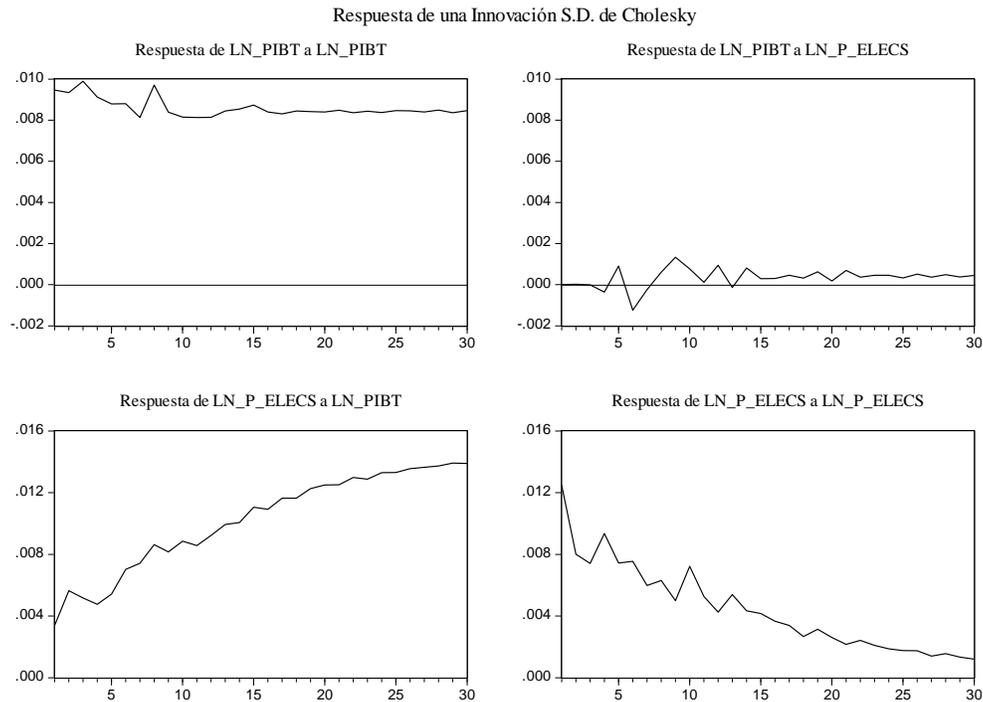


Fuente: Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PElecl PIBs

Las funciones impulso respuesta del sector secundario se analizan con el gráfico 5.6. Los cuadros superiores muestran la respuesta del precio de la electricidad industrial ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas. Cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad industrial, hay un efecto positivo en todos los periodos analizados. Cuando el *shock* proviene del PIB secundario, el efecto no es significativo en el primer periodo y es positivo en el resto. La respuesta del PIB secundario se analiza en los cuadros inferiores. Cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad industrial, el efecto es positivo y se mantiene en el tiempo. Cuando el *shock* proviene del PIB secundario, el efecto también es positivo en los 30 periodos.

## Gráfico 5.6 Funciones de Impulso Respuesta – Sector terciario



Fuente:Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PElecS PIBt

Finalmente, con el gráfico 5.7 se presentan las funciones impulso respuesta del sector terciario. La respuesta del PIB terciario y del precio de la electricidad en los servicios ante *shocks* en los residuos de las variables endógenas se muestra en los cuadros superiores e inferiores, respectivamente. Cuando el *shock* proviene del PIB terciario, el efecto es positivo en los periodos analizados. Cuando el *shock* proviene del precio de la electricidad en los servicios, la respuesta en el PIB terciario es fluctúa en los primeros periodos pero a partir del séptimo es positiva, y la respuesta en el precio de la electricidad en los servicios es positiva y se mantiene en el tiempo.

### 5.7.5 Descomposición de la Varianza

Para complementar la interpretación del apartado anterior, se presenta la descomposición de la varianza de cada uno de los sectores económicos.

**Cuadro 5.13 Descomposición de la Varianza – Sector primario**

Descomposición de la varianza de DPElecA:				Descomposición de la varianza de DPIBp:			
Periodo	S.E.	DPElecA	DPIBp	Periodo	S.E.	DPElecA	DPIBp
1	0.1828	100.00	0.00	1	0.0127	0.02	99.98
2	0.2221	99.62	0.38	2	0.0130	2.87	97.13
3	0.2244	97.59	2.41	3	0.0136	9.26	90.74
4	0.2249	97.15	2.85	4	0.0139	11.11	88.89
5	0.2260	97.15	2.85	5	0.0143	12.39	87.61
6	0.2295	95.53	4.47	6	0.0143	12.29	87.71
7	0.2323	94.10	5.90	7	0.0144	12.46	87.54
8	0.2324	94.07	5.93	8	0.0145	12.25	87.75
9	0.2324	94.02	5.98	9	0.0146	12.89	87.11
10	0.2325	94.02	5.98	10	0.0146	13.14	86.86

Fuente: Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PElecA PIBp

En el sector primario, la descomposición de la varianza del precio de la electricidad agrícola muestra que un *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad agrícola explica en el primer periodo el 100 por ciento de la varianza y el 94.02 por ciento en el décimo. El *shock* en las innovaciones del PIB primario no explica la varianza del primer periodo, pero explica un 5.98 por ciento en el décimo. La descomposición de la varianza del PIB primario evidencia que un *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad agrícola explica en el primer periodo el 0.02 por ciento de la varianza del PIB y el 13.14 por ciento en el décimo. Un *shock* en las innovaciones del PIB primario explica el 99.98 por ciento de la varianza en el primer periodo y el 86.86 por ciento en el décimo.

En el cuadro 5.13 se presenta la descomposición de la varianza del sector secundario. En el caso de la descomposición de la varianza del precio de la electricidad industrial, en un primer periodo la varianza es explicada en su totalidad por el *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad industrial. En el décimo periodo, el *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad industrial y del PIB explican el 73.49 y el 26.61 por ciento, respectivamente. En cuanto a la descomposición del PIB secundario, se observa que el *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad industrial y del PIB secundario explican el 3.04 y 96.96 por ciento de la varianza en el primer periodo, y el 20.44 y 79.56 por ciento en el décimo, respectivamente.

**Cuadro 5.14 Descomposición de la Varianza – Sector secundario**

Descomposición de la varianza de PElecI:				Descomposición de la varianza de PIBs:			
Periodo	S.E.	PElecI	PIB	Periodo	S.E.	PElecI	PIBs
1	0.0504	100.00	0.00	1	0.0133	3.04	96.96
2	0.0745	97.52	2.48	2	0.0175	3.91	96.09
3	0.0875	93.27	6.73	3	0.0214	3.81	96.19
4	0.0962	85.41	14.59	4	0.0246	4.44	95.56
5	0.1035	80.93	19.07	5	0.0268	5.82	94.18
6	0.1110	80.70	19.30	6	0.0295	7.17	92.83
7	0.1179	79.38	20.62	7	0.0320	11.40	88.60
8	0.1271	76.16	23.84	8	0.0345	13.51	86.49
9	0.1348	74.96	25.04	9	0.0368	17.49	82.51
10	0.1407	73.49	26.51	10	0.0387	20.44	79.56

Fuente:Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PElecI PIBs

Finalmente, la descomposición de la varianza del sector terciario se muestra en el cuadro 5.15. La descomposición de la varianza del PIB terciario sugiere que el *shock* en las innovaciones del precio de la electricidad en los servicios explica el 0.04 por ciento de la varianza en el cuarto periodo y el 0.065 en el décimo. Por otra parte, la descomposición de la varianza del precio de la electricidad en los servicios muestra que el *shock* en las innovaciones del PIB terciario explica el 6.91 por ciento de la varianza en el primer periodo y el 41.56 en el décimo.

**Cuadro 5.15 Descomposición de la Varianza – Sector terciario**

Descomposición de la varianza de PIBt:				Descomposición de la varianza de PElecS:			
Periodo	S.E.	PIBt	PElecS	Periodo	S.E.	PIBt	PElecS
1	0.0095	100.00	0.00	1	0.0129	6.91	93.09
2	0.0133	100.00	0.00	2	0.0162	16.51	83.49
3	0.0166	100.00	0.00	3	0.0186	20.36	79.64
4	0.0189	99.96	0.04	4	0.0213	20.41	79.59
5	0.0209	99.78	0.22	5	0.0232	22.66	77.34
6	0.0227	99.52	0.48	6	0.0254	26.57	73.43
7	0.0241	99.56	0.44	7	0.0271	30.77	69.23
8	0.0260	99.57	0.43	8	0.0292	35.39	64.61
9	0.0274	99.37	0.63	9	0.0307	39.01	60.99
10	0.0286	99.35	0.65	10	0.0328	41.56	58.44

Fuente:Elaboración propia.

- Orden de Cholesky: PIBt PElecS

## 5.8 Pronósticos de la Reforma Energética

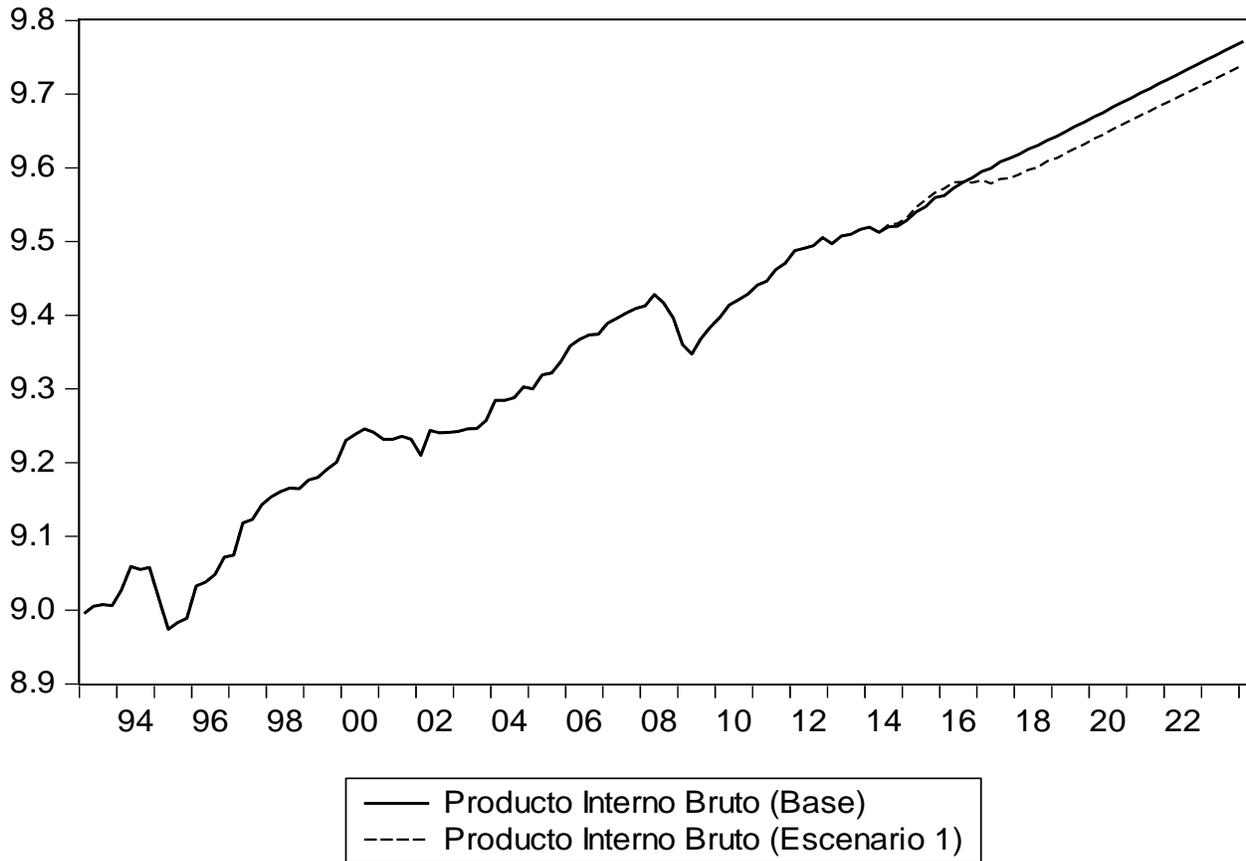
Dentro de la Reforma Energética de 2013, se establece que dos de los principales objetivos son “bajar las tarifas eléctricas, bajar el precio del gas y bajar el precio de los alimentos” y “generar cerca de un punto porcentual más de crecimiento económico en 2018 y aproximadamente 2 puntos porcentuales más para 2025” (Gobierno de la República, 2013, p. 3). El primero de enero del 2015 se decretó en el Diario Oficial de la Federación que “la Secretaria de Hacienda y Crédito Público determinará el mecanismo de fijación de las tarifas finales de energía eléctrica (...) con el fin de reducir los cargos tarifarios que se encuentran vigentes durante diciembre de 2014”, mismo día que se establecieron las tarifas finales de energía eléctrica y los precios máximos al público de las gasolinas, del diésel y del gas licuado de petróleo.

En el acuerdo por el que se establecen las tarifas de energía eléctrica se estableció que se emprenderían las acciones conducentes para que durante el 2015 se redujeran un 2% los cargos tarifarios vigentes durante diciembre de 2014. Aunque la caída del precio de la electricidad puede ser producto del aumento de la competitividad, de la disminución del precio del gas natural o del combustóleo, o de otro factor resultante de la reforma energética, en este trabajo no se intenta explicar la causa de este fenómeno sino el efecto que tendrá en la producción si se cumple lo estipulado en la reforma. De esta manera, en esta sección se elaboran tres pronósticos a partir de los modelos VEC para determinar la relación de los objetivos descritos anteriormente.

En los gráficos posteriores se presentan dos soluciones de cada uno de los modelos: una no toma en cuenta el efecto de la reforma energética (escenario base) y la otra considera la disminución en los precios de la electricidad (escenario 1). Los pronósticos no incluyen variables exógenas y comprenden un periodo de diez años a partir del segundo trimestre del 2014. Fue una selección de tiempo arbitraria lo suficientemente larga para diferenciar efectos de corto y largo plazo. Para la solución que considera el efecto de la reforma energética, se utilizaron los valores auténticos del precio de la electricidad entre el segundo trimestre del 2014 y el cuarto trimestre del 2015. A partir de ese periodo se asumió que los precios bajaron dos por ciento cada trimestre del 2016, y uno por ciento cada trimestre del 2017 hasta alcanzar un nivel competitivo con las tarifas promedio de Estados Unidos. En cuanto a los periodos posteriores, se asumió que los precios de la electricidad aumentaron de acuerdo a una inflación del tres por ciento anual en base al comportamiento que ésta ha tenido en los últimos años (véase gráfico 3.17). Es importante señalar

que los pronósticos reflejan únicamente un cambio en los precios de la electricidad, sin tomar en cuenta otros efectos que la reforma podría tener.

**Gráfico 5.7 Efectos de las Reforma Energética en el PIB total  
ante una disminución del precio de la electricidad**

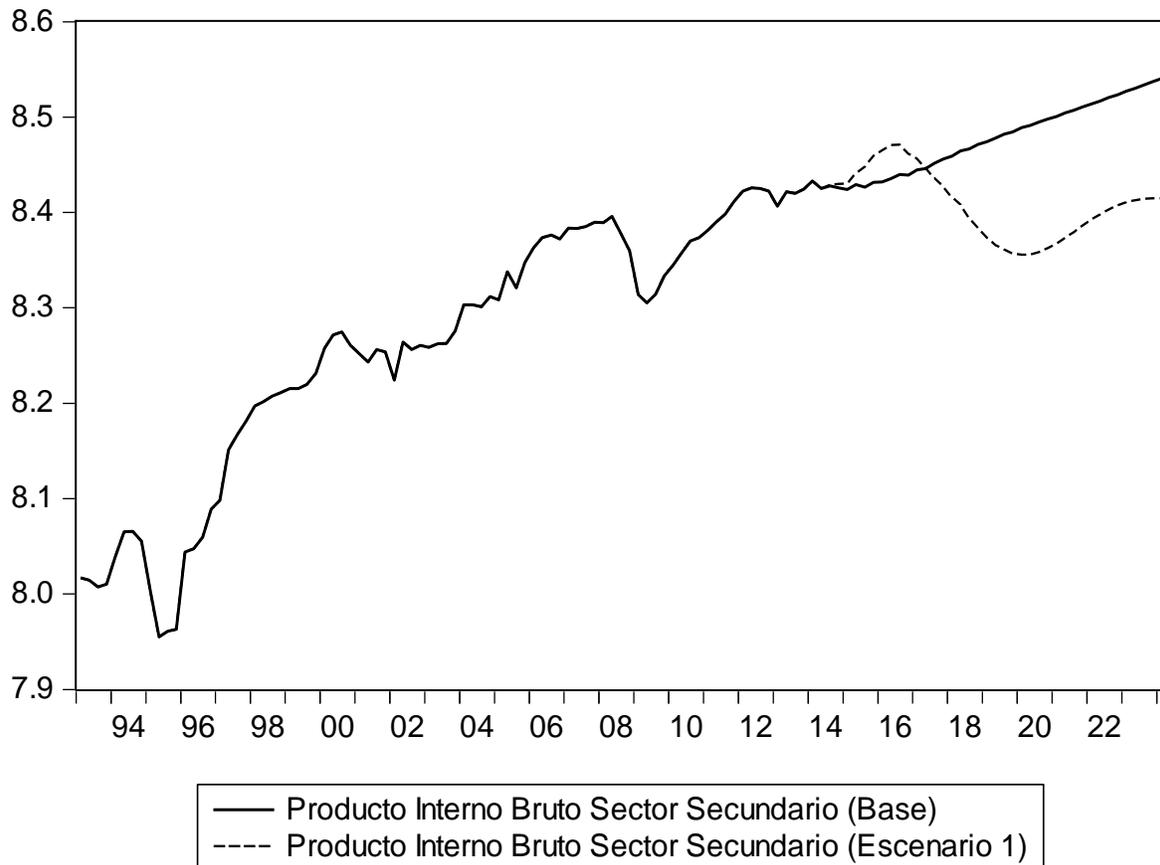


Fuente: Elaboración propia.

-Variable expresada en logaritmos naturales.

En el grafico 5.7 se puede observar que la disminución en el precio de la electricidad tiene un efecto positivo en el producto interno bruto en los primeros periodos del pronóstico, pero a partir del cuarto trimestre del 2016 el efecto es negativo. Cabe mencionar que después del primer trimestre del 2018 ambos pronósticos siguen una misma tendencia, con la diferencia que el escenario 1 mantiene un nivel de producción inferior al escenario base.

**Gráfico 5.8 Efectos de las Reforma Energética en el PIB secundario  
ante una disminución del precio de la electricidad industrial**

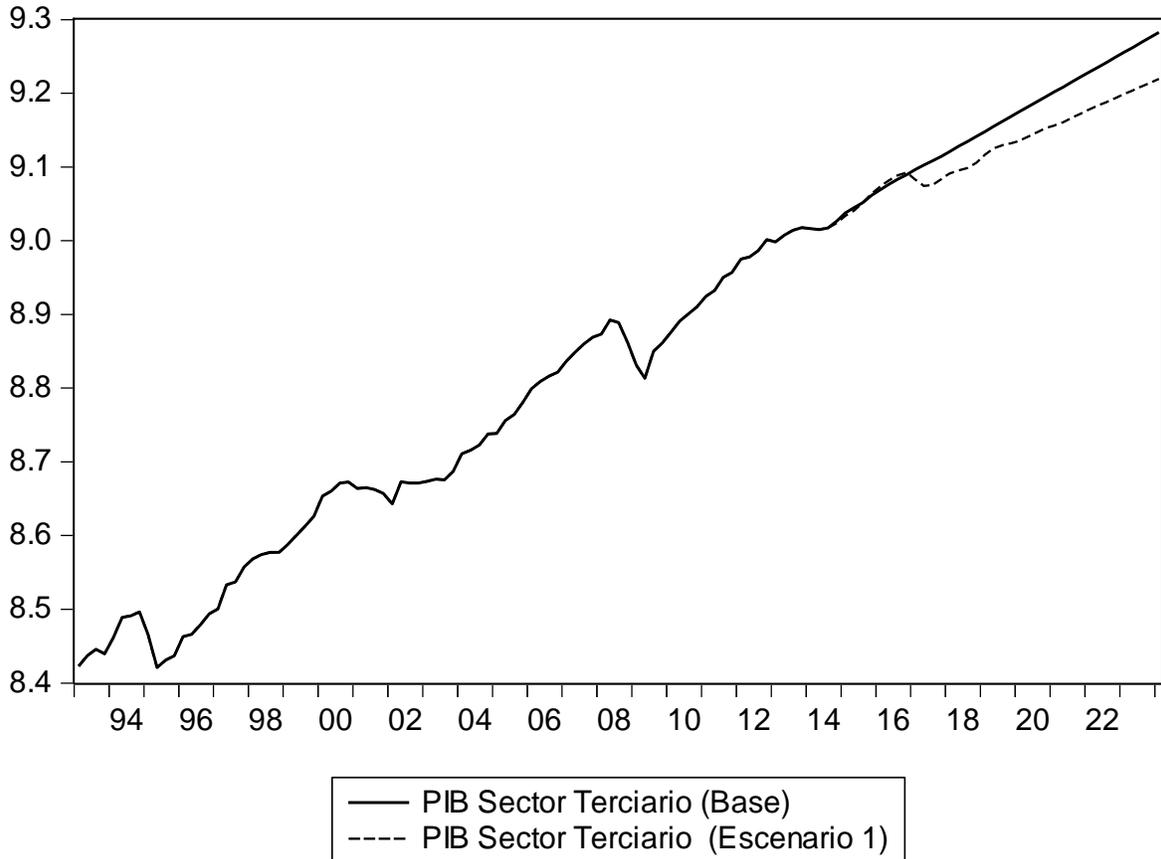


Fuente: Elaboración propia.

-Variable expresada en logaritmos naturales.

El efecto de la disminución en el precio de la electricidad industrial sobre el producto interno bruto secundario se muestra en el gráfico 5.8. Similar al caso anterior, el PIB secundario responde positivamente en los primeros periodos, pero a partir del tercer trimestre del 2017 el efecto es negativo. No obstante, el cambio en el nivel de producción es relativamente mayor en el sector secundario.

**Gráfico 5.9 Efectos de las Reforma Energética en el PIB terciario ante una disminución del precio de la electricidad en los servicios**



Fuente: Elaboración propia.

-Variable expresada en logaritmos naturales.

Por último, el gráfico 5.9 ilustra el efecto que tiene el cambio del precio de la electricidad en los servicios en el PIB terciario. Nuevamente, el efecto en la producción es positivo en los primeros periodos, pero después del primer trimestre del 2017 el PIB terciario es menor que el del escenario base. En este sector, el incremento de los primeros periodos es poco perceptible en comparación con el sector secundario. Por otra parte, la tendencia del escenario 1 es menos pronunciada que la del escenario base.

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES GENERALES**

Es innegable que los datos muestran una estrecha relación entre el crecimiento del PIB en México y el consumo de electricidad en el periodo 1993-2014. Las modernizaciones del sector energético que han ocurrido en este periodo de tiempo han servido para vincular el uso de la energía como motor de la actividad económica. Esto ha despertado el interés por conocer el papel que tendrán las políticas energéticas en el crecimiento económico futuro del país.

Enmarcada en las teorías de crecimiento en donde la producción se explica no solo por factores tradicionales como el capital y el trabajo, el uso de los insumos energéticos cobra un papel cada vez más importante para entender la producción nacional. Más aún, estudios previos han demostrado que esta relación se extiende no solo al consumo de los energéticos sino también a sus precios.

Como se presentó anteriormente, la evidencia empírica sugiere que los países con niveles de desarrollo similares a los de México mantienen una relación de causalidad entre el consumo de energéticos y su crecimiento económico. El petróleo, el gas natural y la electricidad son los energéticos que se consumen con mayor intensidad y generalmente se utilizan para representar el desempeño del sector energético en los países. La evidencia también parece sugerir que a medida que la eficiencia energética aumenta, esta relación se debilita. Sin embargo, aún no hay un consenso sobre esta conclusión en la literatura de la economía de la energía.

Dado lo anterior, en esta investigación se estudió la relación existente entre el sector eléctrico y el crecimiento económico de México, con el propósito de obtener un mayor conocimiento sobre la importancia relativa de la electricidad y los posibles efectos que las reformas del sector energético pueden tener en la producción del país. Para cumplir con los objetivos establecidos en la tesis, se propusieron tres modelos de vectores autorregresivos. El modelo 1 se enfocó en la relación entre el consumo de electricidad y el producto interno bruto; el modelo 2, en el efecto que provoca el cambio del precio de la energía sobre el producto interno bruto; y el modelo 3, en determinar la respuesta de la producción de cada sector al cambio en el precio de la electricidad.

Los resultados indican que no hay una relación de largo plazo entre el consumo de electricidad y el producto interno bruto, pero que sí la hay en el corto plazo. La evidencia sugiere que la causalidad entre las variables es unidireccional, y que ésta va del consumo de electricidad hacia el

PIB. Más aun, las funciones de impulso respuesta muestran que, ante un *shock* en las innovaciones del consumo de electricidad, la respuesta del PIB es positiva en los primeros seis meses.

También se encontró que el precio de la electricidad, el precio de los productos petroquímicos y el producto interno bruto tienen una relación de largo plazo. Los resultados mostraron que ambos precios se asocian positivamente con el crecimiento económico. Este hallazgo es consistente para el precio de los petroquímicos con lo encontrado en Álvarez & Valencia (2015). El efecto positivo puede explicarse posiblemente por la tendencia a aumentar que han tenido los precios y la producción en el periodo de tiempo estudiado. En cuanto al corto plazo, la única relación de causalidad entre las variables va del precio de los productos petroquímicos hacia el precio de la electricidad. Este resultado sugiere que el precio de la electricidad es una variable endógena explicada por el precio de los petroquímicos. En otras palabras, las variaciones del precio del petróleo y del gas natural afectan al precio de la electricidad.

Otro hallazgo indica que existe una relación de largo plazo entre el precio de la electricidad y el PIB solamente en el sector secundario y en el terciario. En ambos casos, la causalidad de esta relación va del precio a la producción. Ninguno de los sectores presenta una relación de causalidad de corto plazo entre los precios de la electricidad y su producción.

En cuanto a la primera hipótesis particular, se comprobó que el aumento en el consumo de electricidad ocasiona incrementos en el producto interno bruto en el corto plazo. Por lo tanto, las políticas económicas orientadas a modificar el consumo de electricidad para promover un mayor crecimiento económico deben ser diseñadas considerando cortos periodos de tiempo. Sin embargo, se trata que las empresas disminuyan su consumo de energía mientras se busca el aumento de la producción. Por otra parte, el consumo de electricidad total y el producto interno bruto no mantienen una relación de largo plazo, contrario a lo propuesto en la segunda hipótesis. Este resultado difiere de trabajos que utilizaron como variable el consumo de electricidad industrial posiblemente porque el consumo de electricidad total recoge el comportamiento del consumo doméstico, el cual tiende a ser constante en el tiempo.

Para contrastar la tercera hipótesis sobre los efectos que la reforma energética tendrá en el PIB se construyeron los pronósticos de la sección 5.8. De acuerdo a estos resultados, la disminución de las tarifas eléctricas incrementará el nivel de producción en el corto plazo contribuyendo a alcanzar el objetivo de crecimiento que se propuso para el 2018. No obstante, los pronósticos

sugieren que en el largo plazo el efecto en la producción es negativo y afecta principalmente al sector industrial, complicando conseguir el crecimiento propuesto para el 2025.

Finalmente, la cuarta hipótesis se abordó a través de la estimación por sectores. La hipótesis fue cierta en el sentido de que el sector secundario sí es sensible ante el cambio en los precios de la electricidad, pero falló en considerar que el sector terciario también es sensible a dicho cambio. Más aún, en ambos sectores se encontró que la sensibilidad es producto de la causalidad de largo plazo que va del precio de la electricidad al PIB de cada sector. Estos resultados sugieren que las políticas de crecimiento que se basan en el cambio del precio de la electricidad deben construirse considerando objetivos de largo plazo.

Cabe destacar que, si bien el consumo de electricidad industrial y la producción del sector secundario han aumentado en el transcurso del tiempo, la relación entre la energía consumida y las unidades producidas ha disminuido. Esta relación se mide con el indicador de intensidad energética por unidad de producción física<sup>21</sup>, el cual es utilizado para evaluar el grado de eficiencia de los sectores económicos en el aprovechamiento de la energía, así como sus oportunidades de mejora. De acuerdo a la Secretaría de Energía (2011), el sector secundario es el que tiene una mayor participación en el consumo de energía y es el más intensivo en su uso. No obstante, entre 1993 y 2009 su nivel de intensidad energética ha disminuido, de manera que se consume menos energía por unidad de producción. En el caso del sector primario y terciario, el nivel de intensidad energética ha aumentado en el primero y permanecido constante en el segundo en el mismo periodo de tiempo. En otras palabras, mientras que el sector secundario ha ganado eficiencia en el uso de la energía, el primario y el terciario no lo han hecho. El aumento en la eficiencia del sector secundario puede deberse a su dependencia en el uso de la energía que lo impulsa a innovar sus procesos productivos de manera que requieran menos electricidad.

Los incrementos en la eficiencia energética pueden provocar una separación entre el sector energético y el crecimiento económico. Con mayores niveles de eficiencia, el consumo de energía podría representar cada vez una menor proporción de los costos de producción. Consecuentemente, el cambio en los precios de los energéticos tendría un menor impacto en el producto interno bruto.

---

<sup>21</sup> Consumo de energía (MJ) entre el valor de la producción (toneladas).

Tomando en cuenta las limitaciones de este tipo de estudios, se recomienda a los responsables de dirigir la política económica del país reconocer el potencial que pueden tener las reformas energéticas sobre el crecimiento económico. Las políticas energéticas deben buscar el incremento de la producción, reducir la intensidad energética (producir más con el mismo consumo de energía) y deben planificarse distinguiendo los efectos en el corto y largo plazo. En este trabajo se estudió la relación que hay entre el consumo y los precios de la electricidad con el crecimiento económico, futuras investigaciones podrían enfocarse en explicar qué factores causan las variaciones en el precio de los energéticos y/o cómo afecta el incremento de la eficiencia energética en el consumo de energía de México.

## BIBLIOGRAFIA

- Abbasian, E., Nazari, M. & Nasrindoost, M., 2010. Energy Consumption and Economic Growth in the Iranian Economy: Testing the Causality Relationship. *Middle East Journal of Scientific Research*, 5(5).
- Abosedra, S. & Baghestani, H., 1989. New evidence on the causal relationship between United States energy consumption and gross national product. *Journal of Energy Development*, Volume 14, pp. 285-292.
- Adeniran, O., 2009. Does Energy Consumption Cause Economic Growth? An Empirical Evidence from Nigeria..
- Alam, M., Begum, I. & Buysse J., V. G., 2012. Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*, Volume 45, pp. 217-225.
- Altinay, G. & Karagol, E., 2004. Structure break, unir root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey. *Energy Econ*, Volume 26, pp. 985-994.
- Altinay, G. & Karagol, E., 2006. Electricity Consumption And Economic Growth: Evidence from Turkey. *Energy Economics*, Volume 27, pp. 849-856.
- Alvarez, J. & Valencia, F., 2015. Made in Mexico: Energy Reform and Manufacturing Growth. *International Monetary Fund*.
- Amisano, G. & Giannini, C., n.d. *Topics in Structural VAR Econometrics*. Segunda ed. s.l.:s.n.
- Ang, J., 2007. CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), pp. 4772-4778.
- Apergis, N. & Payne, J., 2009. Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31(2), pp. 211-216.
- Aqeel, A. & Butt, M., 2001. The Relationship Between Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan. *Asia-Pacific Development Review*, Volume 8, pp. 101-110.
- Arshad, M., Qayyum, A. & Ahmad, E., 2007. Dynamic Modelling of Energy and Growth in South Asia. *The Pakistan Development Review*, 46(4), pp. 481-498.
- Asafu-Adjaye, J., 2000. J. (2000) The Relationship between Energy Consumption, Energy Prices and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries.. *Energy Economics*, Volume 22, pp. 615-625.
- Banco de México, n.d. *Banco de México*. [Online]  
Available at: <http://www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/material-de-referencia/intermedio/inflacion/elaboracion-inpc-udis.html>  
[Accessed 24 Marzo 2016].
- Birol, F., 2007. Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda?. *The Energy Journal*, 28(3), pp. 1-6.

- Blanchard, O., 2006. *Macroeconomía*. Cuarta ed. Madrid: Pearson Educación.
- Blaug, M., 1996. *Economic theory in retrospective*. Quinta ed. New York: Cambridge University Press.
- Brooks, D., 1985. Energy, Economics, Environment. *Canadian Journal of Public Health*, Volume 76, pp. 92-94.
- Caballero, K. & Galindo, L., 2007. El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*, 38(148).
- Cheng, 1997. Energy Consumption and Economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: A Time Series Analysis, 476-674. Chern, W. S.. *Applied Economics Letters*, Volume 4, pp. 476-674.
- Cheng, B., 1995. An investigation of cointegration and causality between energy consumption and economic growth. *Journal of Energy Development*, 21(1), pp. 73-84.
- Cheng, B., 1997. An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy Economics*, 19(4), pp. 435-444.
- Cheng, B., 1999. Causality Between Energy Consumption and Economic Growth in India: An Application of Cointegration and Error-Correcting Modelling. *Indian Economic Review*, 34(1), pp. 39-49.
- Chontanawat, J. & Pierse, R., 2006. Causality between Energy Consumption and GDP: Evidence from 30 OECD and 78 non-OECD Countries. *urrey Energy Economics Discussion Paper Series (SEED)*.
- Comisión de Energía, 2013. *Ley de Hidrocarburos*. [Online]  
Available at: <http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/reforma.php>  
[Accessed 18 Marzo 2016].
- Comisión de Energía, 2013. *Ley de la Industria Eléctrica*. [Online]  
Available at: [http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma\\_energetica/LIE.pdf](http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma_energetica/LIE.pdf)  
[Accessed 18 Marzo 2016].
- Cypher, J. & Dietz, J., 2002. *The Process of Economic Development*. s.l.:Routledge.
- Ebohon, O., 1996. Energy, Economic Growth and Causality in Developing Countries: A Case Study of Tanzania and Nigeri. *Energy Policy*, 24(5), pp. 447-453.
- Ediger, V., 2004. Energy Productivity and Development in Turkey. *Energy and Cogeneration Word*, Volume 25, pp. 74-78.
- Fatai, K., Oxley, L. & F., S., 2004. Modelling the Causal Relationship between Energy Consumption and GDP in New Zealand, Australia, India, Indonesia, the Philippines and Thailand.. *Mathematics and Computer Simulation*, pp. 431-445.
- Fatai, K., Oxley, L. & Scrimgeour, F., 2002. Energy consumption and employment in New Zeland: Searching for causality. *NZAE Conference*, pp. 26-28.
- Gardner, T. & Joutz, F., 1996. Economic Growth, Energy Prices and Technological Innovation. *Southern Economic Journal*, 62(3), pp. 653-666.

- Gardner, T. & Joutz, F., 1996. Economic Growth: Energy Prices and Technological Innovation. *Southern Economic Journal*, 62(3), pp. 653-666.
- Ghali, K., 2004. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*, 26(2), pp. 225-238.
- Gobierno de la República, 2013. *Reforma Energética*, s.l.: s.n.
- Granger, C., 1969. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, Volume 37, pp. 424-438.
- Gujarati, D. & Porter, D., 2010. *Econometría*. Quinta ed. México: McGraw Hill.
- Hamilton, J. D., 1994. *Time Series Analysis*. Estados Unidos: Princeton University Press.
- Hicks, J., 1985. Keynes y los "Clásicos": una posible interpretación. In: *Lecturas de Macroeconomía*. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., pp. 143-152.
- Hondroyannis, G., Lolos, S. & Papapetru, E., 2002. Energy consumption and economic growth: assessing the evidence from Greece. *Energy Economics*, 24(4), pp. 319-336.
- Hwang, D. & Gum, B., 1991. The Causal Relationship between Energy and GNP: the Case of Taiwan. *Journal of Energy and Development*, Volume 16, pp. 219-226.
- Islam, F., Shahbaz, M. & Alam, M., 2011. Financial Development And Energy Consumption Nexus In Malaysia: A Multivariate Time Series Analysis.. *MPRA*.
- Jobert, T. & Karanfil, F., 2007. Sectoral energy consumption by source and economic growth in Turkey. *Energy Policy*, 35(11), pp. 5447-5456.
- Keynes, J. M., 2003. *Teoría General de la Ocupación, el Interés y el Dinero*. Cuarta ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- Khan, M. A. & Qayyum, A., 2007. Dynamic Modelling of Energy and Growth in South Asia.. *The Pakistan Development Review*, 46(4), pp. 481-498.
- Koop, G., 2000. *Analysis of Economic Data*. Inglaterra: John Wiley & Sons, LTD.
- Kraft, J. & Kraft, G., 1978. On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy Development*, Volume 3, pp. 401-403.
- Lee, C.-C., 2006. The Causality Relationship between Energy Consumption and GDP in G-11 Countries Revisited. *Energy Policy*, Volume 34, pp. 1086-1093.
- Liddle, B. & Lung, S., 2015. Revisiting energy consumption and GDP causality: Importance of a priori hypothesis testing, disaggregated data, and heterogeneous panels. *Applied Energy*, Volume 142, pp. 44-55.
- Lise, W. & Van Montfort, K., 2007. Energy consumption and GDP in Turkey: Is there a co-integration relationship?. *Energy Economics*, 29(6), pp. 1166-1178.

- Loganathan, N. & Subramaniam, T., 2010. Dynamic Cointegration Link between Energy Consumption and Economic Performance: Empirical Evidence from Malaysia.. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 1(3).
- Lutkepohl, H. & Kratzig, M., 2004. *Applied Time Series Econometrics*. Primera ed. Nueva York: Cambridge University Press.
- Mallick, H., 2009. Examining the Linkage between Energy Consumption and Economic Growth in India. *The Journal of Developing Areas*, 43(1), pp. 249-280.
- Malthus, T., 1998. *An Essay on the Principle of Population*. s.l.:Electronic Scholarly Publishing Project.
- Masih, A. & Masih, R., 1997. On the Temporal Causality Relationship between Energy Consumption, Real Income, and Prices: Some New Evidence for the Asian Energy Dependent NIC 's Based on Multi variate Cointegration/ Vector Error- Correction Approac. . *Journal of Policy Modeling*, 19(4), pp. 417-440.
- Masih, A. & R., M., 1996. Energy Consumption, Real Income, and Temporal Causality: Results from and Multi-Country Study Based on Cointegration and Error- Correction Modelling Techniaue. *Energy Economics*, Volume 18, pp. 165-183.
- Medlock, K. & Soligo, R., 2001. Economic Development and End-Use Energy Demand. *The Energy Journal*, 22(2), pp. 77-105.
- Mehrara, M., 2007. Energy Consumption and Economic Growth: The Case of Oil Exporting Countries: Iran Kuwait and Saudi Arabia. *Journal of Energy Policy*, 35(5), pp. 2939-2945.
- Mozumder, P. & Marathe, A., 2007. Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh. *Energy Policy*, 35(1), pp. 395-402.
- Mundial, B., 2016. *El Banco Mundial*. [Online]  
Available at: <http://datos.bancomundial.org/income-level/UMC>  
[Accessed 24 Marzo 2016].
- Okonkwo, C. & Gbadebo, O., 2009. Does Energy Consumption Contribute to Economic Performance? Empirical Evidence from Nigeria.. *Journal of Economics and Business*, 12(2).
- Omotor, D., 2008. Causality between Energy Consumption and Economic Growth in Nigeria.. *Pakistan Journal of Social Sciences*, 5(8), pp. 827-835.
- Omri, A., 2014. An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studie. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Volume 38, pp. 951-959.
- Pachauri, R., 1977. Energy and Economic Development in India. *Praeger Publishers*.
- Páramo, M., 1997. La Comisión Reguladora de Energía. In: *Regulación del sector energético*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Paul, S. & Bhattacharya, R., 2004. Causality between energy consumption and economic growth in India: A note on conflict results. *Energy Economics*, 26(6), pp. 977-983.

- Pradhan, R., 2010. Energy Consumption-Growth Nexus in SAARC Countries: Using Cointegration and Error Correction Model.. *Modern Applied Science*, 4(4), pp. 74-90.
- Razzaqi, S., Bilquees, F. & Sherbaz, S., 2011. Dynamic Relationship between Energy and Economic Growth: Evidence from D8 Countries. *The Pakistan Development Review*, 50(4), pp. 437-458.
- Rodríguez, V., 2016. Industria Eléctrica en México: Tensión entre el Estado y el Mercado. *Problemas del Desarrollo*, 185(47).
- Romer, P., 1986. Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), pp. 1002-1037.
- Romer, P., 1987. Growth based on increasing returns due to specialization. *The American Economic Review*, 77(2), pp. 56-62.
- Romer, P., 1990. Are Nonconvexities Important for Understanding Growth. *The American Economic Review*, 80(2), pp. 97-103.
- Romer, P., 1990. Capital, Labor, and Productivity. *Brooking Papers on Economic Activity*, pp. 337-367.
- Romer, P., 1990. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), pp. 71-102.
- Romer, P., 1994. The origins of endogenous growth. *The Journal of Economic Perspective*, 8(1), pp. 3-22.
- Romer, P., 2000. Thinking and feeling. *The American Economic Review*, 90(2), pp. 439-443.
- Romer, P., 2002. When should we use intellectual property rights?. *The American Economic Review*, 92(2), pp. 213-216.
- Romer, P., 2010. What parts of globalization matter for catch-up growth. *The American Economic Review*, 100(2), pp. 94-98.
- Saunders, H., 1992. The Khazzoom-Brooks Postulate and Neoclassical Growth. *The Energy Journal*, 13(4), pp. 131-148.
- Schwab, K. & Sala i Martin, X., 2014. *The Global Competitiveness Report 2014-2015*, Suiza: World Economic Forum.
- Secretaría de Energía, 2011. *Indicadores de eficiencia energética en el sector servicios*, s.l.: s.n.
- Secretaría de Energía, 2011. *Indicadores de eficiencia energetica en los sectores industrial y primario*, s.l.: s.n.
- Siddiqui, R., 2004. Energy and Economic Growth in Pakistan. *The Pakistan Development Review*, 43(2), pp. 175-200.
- Smith, A., 2006. *Investigación sobre la Naturaleza y Causa de la Riqueza de las Naciones*. Segunda ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- Solow, J., 1987. The Capital-Energy Complementarity Debate Revisited. *The American Economic Review*, 77(4), pp. 605-614.

- Solow, R., 1956. A contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Febrero, 70(1), pp. 65-94.
- Solow, R., 1958. Technical Progress and Production Functions: Reply. *The Review of Economics and Perspectives*, 40(4), pp. 411-413.
- Solow, R., 1962. Technical Progress, Capital Formation, and Economic Growth. *The American Review*, 52(2), pp. 76-86.
- Solow, R., 1974. The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, 64(2), pp. 1-14.
- Solow, R., 1986. On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *The Scandinavian Journal of Economics*, 8(1), pp. 141-149.
- Solow, R., 1988. Growth Theory and After. *The American Economic Review*, 78(3), pp. 307-317.
- Solow, R., 1994. Perspectives on Growth Theory. *The Journal of Economic Perspectives*, 8(1), pp. 45-54.
- Solow, R., 78. Resources and Economic Growth. *The American Economist*, 22(2), pp. 5-11.
- Solow, R. & Paul, S., 1953. Balanced Growth under Constant Returns to Scale. *Econometrica*, 21(3), pp. 412-424.
- Soytas, U. & Sari, R., 2003. Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets. *Energy Economics*, Volume 25, pp. 33-37.
- Squalli, J., 2007. Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, 29(6), pp. 1192-1205.
- Srinivasan, P. & Siddanth, I., 2015. Causality among Energy Consumption, CO2 Emission, Economic Growth and Trade: A case of India. *Foreing Trade Review*, 50(3), pp. 168-189.
- Stern, D., 1993. Energy and economic growth in the USA: A multivariate approach. *Energy Economics*, 15(2), pp. 137-150.
- Stern, D., 2010. The Role of Energy in Economic Growth. *Centre for Climate Economics & Policy*.
- Stock, J. & Watson, M., 2001. Vector Autoregressions. *The Journal of Economi Perspectives*, 15(4), pp. 101-115.
- Tang, C. & La Croix, S., 1993. Energy Consumption and Economic Activity in China. *The Energy Journal*, 14(4), pp. 21-36.
- Todaro, M. & Smith, S., 2012. *Economic Development*. Onceava ed. s.l.:Pearson.
- Treviño, F., 1997. La regulación de la energía eléctrica y de la comisión federal de electricidad. In: U. N. A. d. México, ed. *Regulación del sector energético*. México, D.F.: Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Tsani, S., 2010. Energy consumption and economic growth: A causality analysis for Greece. *Energy Economics*, 32(3), pp. 582-590.

- Tyner, W., 1978. Energy Resources and Economic Development in India. *Martinus Nijhoff Social Sciences Division*.
- Yang, H., 2000. A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. *Energy Economics*, 22(3), pp. 309-317.
- Yu, E. & Choi, J., 1985. The Causal Relationship between Energy and GNP: An International Comparison. *Journal of Energy Development*, Volume 10, pp. 249-272.
- Yu, E. & Jin, J., 1992. Cointegration tests of energy consumption, income, and employment. *Resources and Energy*, 14(3), pp. 259-266.
- Zamani, M., 2007. Energy consumption and economic activities in Iran. *Energy Economics*, 29(6), pp. 1135-1140.
- Zenteno, J., 1997. La regulación de los hidrocarburos en México. In: *Regulación del sector energético*. Primera ed. México, D.F.: Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Zhang, X.-P. & Cheng, X.-M., 2009. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Econological Economics*, 68(10), pp. 2706-2712.
- Zhang, Y.-J., 2011. Interpreting the dynamic nexus between energy consumption and economic growth: Empirical evidence from Russia. *Energy Policy*, 39(5), pp. 2265-2272.

# ANEXOS

## A1. Resultados de estimación del modelo 1: VAR (7) en diferencias.

	1.1		1.2		1.3		1.4		1.5		1.6	
	dPIB	dCE										
dPIB(-1)	-0.2252 (0.1330) [-1.69345]	0.0284 (0.2007) [0.14169]	-0.3006 (0.0897) [-3.35255]	-0.0324 (0.1866) [-0.17385]	-0.2945 (0.0906) [-3.25027]	-0.0194 (0.1885) [-0.10282]	-0.2970 (0.0910) [-3.26415]	-0.0195 (0.1904) [-0.10234]	-0.2694 (0.0938) [-2.87321]	-0.0294 (0.1986) [-0.14779]	-0.2767 (0.0940) [-2.94350]	-0.0084 (0.1924) [-0.04369]
dPIB(-2)	-0.1161 (0.1206) [-0.96214]	-0.2134 (0.1820) [-1.17234]	-0.0416 (0.0814) [-0.51060]	-0.1532 (0.1694) [-0.90464]	-0.0303 (0.0836) [-0.36206]	-0.1290 (0.1740) [-0.74151]	-0.0295 (0.0839) [-0.35132]	-0.1290 (0.1756) [-0.73437]	-0.0110 (0.0852) [-0.12862]	-0.1356 (0.1804) [-0.75151]	-0.0313 (0.0851) [-0.36819]	-0.2247 (0.1742) [-1.28984]
dPIB(-3)	-0.1125 (0.1192) [-0.94423]	-0.0163 (0.1798) [-0.09065]	-0.1127 (0.0799) [-1.41037]	-0.0165 (0.1663) [-0.09900]	-0.1127 (0.0804) [-1.40301]	-0.0165 (0.1672) [-0.09852]	-0.1084 (0.0808) [-1.34143]	-0.0163 (0.1691) [-0.09633]	-0.1006 (0.0808) [-1.24458]	-0.0191 (0.1713) [-0.11141]	-0.1067 (0.0835) [-1.27848]	-0.0926 (0.1709) [-0.54221]
dPIB(-4)	-0.1459 (0.1129) [-1.29247]	0.0353 (0.1704) [0.20748]	-0.0233 (0.0771) [-0.30265]	0.1344 (0.1605) [0.83711]	-0.0321 (0.0787) [-0.40843]	0.1155 (0.1637) [0.70529]	-0.0292 (0.0791) [-0.36900]	0.1156 (0.1654) [0.69869]	-0.0366 (0.0791) [-0.46247]	0.1182 (0.1675) [0.70584]	-0.0289 (0.0795) [-0.36386]	0.0835 (0.1627) [0.51289]
dPIB(-5)	0.0605 (0.1134) [0.53351]	-0.2364 (0.1711) [-1.38139]	0.1025 (0.0762) [1.34519]	-0.2024 (0.1586) [-1.27630]	0.0983 (0.0769) [1.27877]	-0.2115 (0.1600) [-1.32194]	0.0910 (0.0777) [1.17104]	-0.2118 (0.1626) [-1.30222]	0.0964 (0.0776) [1.24222]	-0.2137 (0.1644) [-1.29976]	0.1013 (0.0778) [1.30241]	-0.2061 (0.1593) [-1.29364]
dPIB(-6)	-0.1371 (0.1102) [-1.24433]	-0.1764 (0.1662) [-1.06146]	0.0059 (0.0759) [0.07801]	-0.0609 (0.1578) [-0.38614]	0.0022 (0.0765) [0.02879]	-0.0689 (0.1591) [-0.43331]	0.0133 (0.0780) [0.17027]	-0.0685 (0.1632) [-0.41955]	0.0242 (0.0783) [0.30877]	-0.0724 (0.1659) [-0.43622]	0.0259 (0.0789) [0.32788]	-0.0892 (0.1559) [-0.55279]
dPIB(-7)	0.1861 (0.1062) [1.75339]	0.1307 (0.1602) [0.81604]	-0.0273 (0.0757) [-0.36045]	-0.0417 (0.1574) [-0.26463]	-0.0213 (0.0766) [-0.27811]	-0.0289 (0.1594) [-0.18105]	-0.0201 (0.0769) [-0.26180]	-0.0288 (0.1609) [-0.17903]	-0.0074 (0.0774) [-0.09603]	-0.0333 (0.1640) [-0.20329]	-0.0156 (0.0772) [-0.20205]	-0.0410 (0.1580) [-0.25943]
dPIB(-8)	-0.0372 (0.1086) [-0.34294]	-0.1824 (0.1639) [-1.11343]	0.0881 (0.0744) [1.18499]	-0.0812 (0.1547) [-0.52464]	0.0784 (0.0762) [1.02779]	-0.1021 (0.1586) [-0.64410]	0.0838 (0.0768) [1.09100]	-0.1019 (0.1607) [-0.63417]	0.0798 (0.0766) [1.04192]	-0.1005 (0.1624) [-0.61907]	0.0896 (0.0761) [1.17727]	-0.1157 (0.1559) [-0.74259]
dPIB(-9)	0.0080 (0.1050) [0.07617]	-0.0718 (0.1585) [-0.45283]	0.1304 (0.0720) [1.81165]	0.0271 (0.1497) [0.18080]	0.1134 (0.0769) [1.47436]	-0.0095 (0.1599) [-0.05909]	0.1126 (0.0772) [1.45893]	-0.0095 (0.1615) [-0.05873]	0.1169 (0.0770) [1.51763]	-0.0110 (0.1631) [-0.06751]	0.1364 (0.0733) [1.86154]	0.0051 (0.1500) [0.03381]
dCE(-1)	0.3518 (0.0993) [3.54358]	0.3899 (0.1498) [2.60273]	0.2283 (0.0682) [3.34593]	0.2901 (0.1420) [2.04388]	0.2058 (0.0767) [2.68324]	0.2419 (0.1596) [1.51632]	0.2103 (0.0772) [2.72475]	0.2421 (0.1615) [1.49937]	0.1956 (0.0780) [2.50964]	0.2474 (0.1652) [1.49782]	0.2198 (0.0720) [3.05367]	0.2272 (0.1474) [1.54153]
dCE(-2)	0.2857 (0.1037) [2.75616]	0.0624 (0.1564) [0.39882]	0.1015 (0.0729) [1.39133]	-0.0864 (0.1518) [-0.56925]	0.0908 (0.0751) [1.20940]	-0.1093 (0.1563) [-0.69917]	0.0779 (0.0771) [1.01084]	-0.1098 (0.1614) [-0.68039]	0.0679 (0.0773) [0.87750]	-0.1062 (0.1639) [-0.64796]	0.0848 (0.0762) [1.11280]	-0.0504 (0.1560) [-0.32318]
dCE(-3)	0.1503 (0.1065) [1.41114]	0.3060 (0.1607) [1.90474]	0.1666 (0.0714) [2.33252]	0.3193 (0.1487) [2.14778]	0.1567 (0.0734) [2.13333]	0.2978 (0.1528) [1.94978]	0.1578 (0.0737) [2.14143]	0.2979 (0.1542) [1.93157]	0.1648 (0.0737) [2.23553]	0.2954 (0.1562) [1.89178]	0.1782 (0.0730) [2.44290]	0.3376 (0.1494) [2.26071]
dCE(-4)	-0.2059 (0.1009) [-2.04086]	-0.2962 (0.1523) [-1.94551]	-0.1111 (0.0686) [-1.61930]	-0.2197 (0.1428) [-1.53823]	-0.0940 (0.0738) [-1.27431]	-0.1829 (0.1535) [-1.19187]	-0.0979 (0.0742) [-1.31875]	-0.1831 (0.1553) [-1.17931]	-0.0972 (0.0740) [-1.31441]	-0.1833 (0.1567) [-1.16999]	-0.1132 (0.0722) [-1.56758]	-0.1456 (0.1478) [-0.98514]
dCE(-5)	0.0225 (0.0980) [0.22954]	0.4566 (0.1478) [3.08856]	-0.1038 (0.0674) [-1.53903]	0.3546 (0.1403) [2.52732]	-0.1024 (0.0678) [-1.51010]	0.3576 (0.1411) [2.53435]	-0.0933 (0.0690) [-1.35254]	0.3579 (0.1444) [2.47864]	-0.0930 (0.0688) [-1.35261]	0.3578 (0.1457) [2.45530]	-0.0908 (0.0708) [-1.28223]	0.4130 (0.1450) [2.84911]

dCE(-6)	-0.0715 (0.1008) [-0.70870]	0.0516 (0.1522) [0.33889]	-0.1456 (0.0682) [-2.13456]	-0.0083 (0.1419) [-0.05865]	-0.1261 (0.0748) [-1.68633]	0.0335 (0.1556) [0.21550]	-0.1355 (0.0760) [-1.78405]	0.0331 (0.1590) [0.20841]	-0.1280 (0.0760) [-1.68436]	0.0304 (0.1610) [0.18905]	-0.1559 (0.0712) [-2.19118]	-0.0542 (0.1457) [-0.37186]
dCE(-7)	-0.1048 (0.0942) [-1.11227]	0.0268 (0.1422) [0.18845]	0.0055 (0.0646) [0.08562]	0.1159 (0.1344) [0.86279]	0.0017 (0.0652) [0.02580]	0.1077 (0.1356) [0.79408]	0.0041 (0.0655) [0.06322]	0.1078 (0.1370) [0.78656]	-0.0051 (0.0657) [-0.07705]	0.1111 (0.1393) [0.79733]	0.0004 (0.0658) [0.00625]	0.1191 (0.1346) [0.88433]
dCE(-8)	-0.2659 (0.0953) [-2.78939]	-0.3220 (0.1438) [-2.23848]	-0.1373 (0.0658) [-2.08758]	-0.2181 (0.1368) [-1.59381]	-0.1297 (0.0671) [-1.93211]	-0.2018 (0.1396) [-1.44513]	-0.1242 (0.0677) [-1.83410]	-0.2016 (0.1420) [-1.42256]	-0.1261 (0.0675) [-1.86771]	-0.2009 (0.1430) [-1.40443]	-0.1350 (0.0669) [-2.01687]	-0.2087 (0.1370) [-1.52266]
dCE(-9)	0.1316 (0.0979) [1.34368]	0.2127 (0.1478) [1.43925]	0.0185 (0.0671) [0.27640]	0.1214 (0.1396) [0.86971]	0.0177 (0.0674) [0.26194]	0.1195 (0.1403) [0.85183]	0.0137 (0.0679) [0.20137]	0.1193 (0.1420) [0.84042]	0.0011 (0.0685) [0.01533]	0.1238 (0.1451) [0.85329]	0.0050 (0.0691) [0.07245]	0.1496 (0.1414) [1.05805]
C	0.0079 (0.0022) [3.64439]	0.0055 (0.0033) [1.69874]	0.0044 (0.0015) [2.93812]	0.0027 (0.0031) [0.87845]	0.0044 (0.0015) [2.91606]	0.0027 (0.0031) [0.86727]	0.0046 (0.0015) [2.99020]	0.0027 (0.0032) [0.85245]	0.0042 (0.0016) [2.65982]	0.0029 (0.0033) [0.86711]	0.0043 (0.0016) [2.65100]	0.0046 (0.0034) [1.38223]
dK	-	-	0.3452 (0.0414) [8.33612]	0.2788 (0.0862) [3.23611]	0.3319 (0.0463) [7.16903]	0.2504 (0.0963) [2.59963]	0.3456 (0.0496) [6.97457]	0.2510 (0.1037) [2.42017]	0.3436 (0.0494) [6.95304]	0.2517 (0.1047) [2.40346]	0.3588 (0.0457) [7.85011]	0.2631 (0.0936) [2.81149]
dPIUS	-	-	-	-	0.0492 (0.0753) [0.65323]	0.1056 (0.1567) [0.67409]	0.0510 (0.0756) [0.67441]	0.1057 (0.1583) [0.66799]	0.0624 (0.0760) [0.82044]	0.1016 (0.1610) [0.63118]	-	-
dL	-	-	-	-	-	-	-0.0798 (0.1006) [-0.79367]	-0.0033 (0.2104) [-0.01564]	-0.0864 (0.1004) [-0.86046]	-0.0009 (0.2127) [-0.00442]	-0.0785 (0.1024) [-0.76741]	0.0699 (0.2096) [0.33368]
di	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0075 (0.0065) [-1.16112]	0.0027 (0.0137) [0.19593]	-0.0060 (0.0071) [-0.85380]	0.0148 (0.0145) [1.02165]
dPIBUS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0058 (0.0208) [-0.27790]	-0.0793 (0.0425) [-1.86583]
<b>Resumen estimación</b>												
R-squared	0.4918	0.4524	0.7755	0.5400	0.7772	0.5438	0.7799	0.5438	0.7854	0.5442	0.7830	0.5695
Adj. R-squared	0.3285	0.2764	0.6979	0.3811	0.6947	0.3749	0.6926	0.3631	0.6946	0.3513	0.6911	0.3874
Sum sq. resids	0.0060	0.0136	0.0026	0.0114	0.0026	0.0113	0.0026	0.0113	0.0025	0.0113	0.0025	0.0107
S.E. equation	0.0103	0.0156	0.0069	0.0144	0.0070	0.0145	0.0070	0.0146	0.0070	0.0147	0.0070	0.0143
F-statistic	3.0108	2.5702	9.9983	3.3979	9.4207	3.2187	8.9406	3.0087	8.6515	2.8216	8.5269	3.1267
Log likelihood	247.5667	216.7095	278.2005	223.2456	278.4956	223.5598	278.9387	223.5600	279.8986	223.5876	279.4719	225.7315
Akaike AIC	-6.0951	-5.2723	-6.8853	-5.4199	-6.8666	-5.4016	-6.8517	-5.3749	-6.8506	-5.3490	-6.8393	-5.4062
Schwarz SC	-5.5080	-4.6852	-6.2674	-4.8019	-6.2177	-4.7527	-6.1719	-4.6951	-6.1399	-4.6383	-6.1286	-4.6955
Mean dependent	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109	0.0073	0.0109
S.D. dependent	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183	0.0126	0.0183
Determinant resid covariance (dof adj.)		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000
Determinant resid covariance		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000
Log likelihood		474.7945		505.5325		505.9948		506.4812		507.6998		509.6327
Akaike information criterion		-11.6479		-12.4142		-12.3732		-12.3328		-12.3120		-12.3635
Schwarz criterion		-10.4737		-11.1782		-11.0754		-10.9732		-10.8906		-10.9422

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en (); t estadístico en [].

## A2. Resultados de estimación del modelo 2: VEC (9).

Ecuación de Cointegración	2.1			2.2			2.3			2.4			2.5			2.6		
	CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1			CointEq1		
PIB (-1)	1			1			1			1			1			1		
PElec (-1)	-0.1287 (0.0277) [-4.64857]			-0.1706 (0.0380) [-4.48907]			-0.1729 (0.0398) [-4.34497]			-0.1826 (0.0391) [-4.67279]			-0.1511 (0.0500) [-3.01998]			-0.1428 (0.0509) [-2.80714]		
Ppetro(-1)	-0.1961 (0.0097) [-20.2635]			-0.1907 (0.0133) [-14.3503]			-0.1888 (0.0137) [-13.8064]			-0.1843 (0.0133) [-13.8104]			-0.1964 (0.0164) [-12.0026]			-0.2103 (0.0168) [-12.4919]		
C	-8.993014			-8.997181			-8.999701			-9.0053			-8.99063			-8.971431		
Error de Corrección:	<b>d(PIB)</b>	<b>d(PElec)</b>	<b>d(Ppetro)</b>															
ECM(-1)	-0.2011 (0.0581) [-3.45945]	0.1421 (0.2510) [0.56620]	2.1505 (0.4821) [4.46097]	0.0097 (0.0426) [0.22803]	0.5521 (0.2442) [2.26074]	2.3501 (0.4893) [4.80344]	-0.0358 (0.0435) [-0.82255]	0.5919 (0.2671) [2.21608]	2.0050 (0.5201) [3.85531]	-0.0319 (0.0444) [-0.71816]	0.7145 (0.2611) [2.73700]	2.0163 (0.5302) [3.80269]	-0.0490 (0.0507) [-0.96765]	0.4230 (0.2939) [1.43915]	1.6047 (0.5828) [2.75318]	-0.0224 (0.0448) [-0.49956]	0.2369 (0.2483) [0.95414]	1.7403 (0.4979) [3.49534]
dPIB(-1)	0.2780 (0.1311) [2.12139]	0.0969 (0.5658) [0.17122]	0.5455 (1.0867) [0.50192]	0.0220 (0.0980) [0.22505]	-0.4230 (0.5614) [-0.75351]	0.1127 (1.1247) [0.10022]	-0.0293 (0.0939) [-0.31216]	-0.4003 (0.5764) [-0.69448]	-0.2952 (1.1222) [-0.26301]	-0.0314 (0.0952) [-0.32958]	-0.4993 (0.5601) [-0.89151]	-0.3314 (1.1375) [-0.29138]	-0.0374 (0.0966) [-0.38701]	-0.6418 (0.5603) [-1.14556]	-0.6713 (1.1111) [-0.60418]	0.0181 (0.1003) [0.18089]	-0.6286 (0.5556) [-1.13147]	-0.3042 (1.1140) [-0.27306]
dPIB(-2)	0.1654 (0.1287) [1.28543]	0.6060 (0.5556) [1.09063]	0.7191 (1.0671) [0.67385]	0.0826 (0.0914) [0.90320]	0.4597 (0.5240) [0.87740]	0.6633 (1.0496) [0.63194]	0.0735 (0.0860) [0.85431]	0.4648 (0.5280) [0.88041]	0.5889 (1.0280) [0.57280]	0.0719 (0.0872) [0.82452]	0.3830 (0.5129) [0.74658]	0.5583 (1.0418) [0.53595]	0.0634 (0.0891) [0.71237]	0.1913 (0.5166) [0.37033]	0.1453 (1.0244) [0.14182]	0.0883 (0.0950) [0.92901]	0.2018 (0.5266) [0.38314]	0.0187 (1.0559) [0.01771]
dPIB(-3)	-0.1224 (0.1258) [-0.97295]	-0.5182 (0.5429) [-0.95447]	-2.3561 (1.0427) [-2.25954]	-0.0378 (0.0892) [-0.42435]	-0.2973 (0.5111) [-0.58164]	-1.9764 (1.0238) [-1.93043]	-0.0178 (0.0842) [-0.21150]	-0.3077 (0.5165) [-0.59576]	-1.8162 (1.0057) [-1.80596]	-0.0181 (0.0850) [-0.21277]	-0.2883 (0.4999) [-0.57678]	-1.7855 (1.0153) [-1.75864]	-0.0240 (0.0867) [-0.27740]	-0.4654 (0.5029) [-0.92545]	-2.2125 (0.9972) [-2.21871]	-0.0520 (0.0910) [-0.57148]	-0.4707 (0.5044) [-0.93316]	-2.3740 (1.0113) [-2.34738]
dPIB(-4)	-0.1663 (0.1231) [-1.35111]	0.3186 (0.5313) [0.59966]	-0.4635 (1.0205) [-0.45420]	-0.0921 (0.0872) [-1.05654]	0.4797 (0.4997) [0.95998]	-0.2600 (1.0010) [-0.25978]	-0.1042 (0.0821) [-1.26924]	0.4839 (0.5039) [0.96047]	-0.3510 (0.9811) [-0.35776]	-0.1047 (0.0829) [-1.26365]	0.4758 (0.4876) [0.97570]	-0.3433 (0.9904) [-0.34661]	-0.1041 (0.0834) [-1.24830]	0.4726 (0.4837) [0.97692]	-0.3907 (0.9593) [-0.40728]	-0.0750 (0.0889) [-0.84344]	0.5144 (0.4925) [1.04466]	-0.4566 (0.9874) [-0.46244]
dPIB(-5)	0.2411 (0.1243) [1.94005]	-0.3187 (0.5366) [-0.59391]	0.2117 (1.0305) [0.20546]	0.0441 (0.0912) [0.48381]	-0.7104 (0.5225) [-1.35966]	-0.0891 (1.0466) [-0.08517]	0.0518 (0.0858) [0.60384]	-0.7161 (0.5264) [-1.36037]	-0.0288 (1.0249) [-0.02809]	0.0491 (0.0871) [0.56336]	-0.8270 (0.5125) [-1.61377]	-0.0553 (1.0409) [-0.05309]	0.0504 (0.0877) [0.57489]	-0.8431 (0.5088) [-1.65688]	-0.1436 (1.0091) [-0.14230]	0.0510 (0.0926) [0.55042]	-0.8042 (0.5132) [-1.56719]	-0.2160 (1.0290) [-0.20990]
dPIB(-6)	-0.1735 (0.1300) [-1.33434]	0.1462 (0.5614) [0.26039]	-1.2898 (1.0782) [-1.19625]	-0.1068 (0.0921) [-1.15999]	0.3115 (0.5277) [0.59034]	-1.0405 (1.0570) [-0.98436]	-0.0782 (0.0872) [-0.89747]	0.2971 (0.5350) [0.55537]	-0.8162 (1.0416) [-0.78355]	-0.0740 (0.0902) [-0.82114]	0.5301 (0.5304) [0.99931]	-0.7103 (1.0773) [-0.65927]	-0.0751 (0.0907) [-0.82851]	0.4724 (0.5260) [0.89798]	-0.8416 (1.0431) [-0.80682]	-0.1078 (0.0948) [-1.13670]	0.4705 (0.5254) [0.89554]	-1.1072 (1.0534) [-1.05109]
dPIB(-7)	0.0968 (0.1262) [0.76725]	-0.0970 (0.5449) [-0.17805]	-0.8660 (1.0465) [-0.82752]	0.0164 (0.0887) [0.18448]	-0.2285 (0.5080) [-0.44972]	-0.8310 (1.0177) [-0.81658]	0.0556 (0.0845) [0.65748]	-0.2538 (0.5187) [-0.48933]	-0.5239 (1.0100) [-0.51875]	0.0529 (0.0855) [0.61905]	-0.3345 (0.5029) [-0.66512]	-0.5239 (1.0214) [-0.51297]	0.0543 (0.0865) [0.62729]	-0.3703 (0.5018) [-0.73800]	-0.7149 (0.9952) [-0.71835]	0.0096 (0.0897) [0.10734]	-0.3193 (0.4973) [-0.64210]	-0.8864 (0.9971) [-0.88891]
dPElec(-1)	-0.0618 (0.0365) [-1.69349]	0.3307 (0.1575) [2.10021]	0.2608 (0.3024) [0.86244]	-0.0102 (0.0266) [-0.38282]	0.4485 (0.1523) [2.94477]	0.3954 (0.3051) [1.29588]	-0.0121 (0.0250) [-0.48506]	0.4521 (0.1535) [2.94519]	0.3811 (0.2989) [1.27496]	-0.0119 (0.0253) [-0.46963]	0.4581 (0.1487) [3.08163]	0.3811 (0.3019) [1.26216]	-0.0165 (0.0264) [-0.62517]	0.3611 (0.1531) [2.35781]	0.1996 (0.3037) [0.65726]	-0.0232 (0.0280) [-0.83023]	0.3233 (0.1551) [2.08519]	0.2232 (0.3109) [0.71792]
dPElec(-2)	-0.0372 (0.0386) [-0.96326]	-0.1403 (0.1666) [-0.84207]	0.0341 (0.3200) [0.10670]	-0.0087 (0.0275) [-0.31691]	-0.0711 (0.1575) [-0.45110]	0.1220 (0.3156) [0.38669]	-0.0188 (0.0261) [-0.72064]	-0.0629 (0.1603) [-0.39274]	0.0457 (0.3121) [0.14633]	-0.0181 (0.0265) [-0.68441]	-0.0316 (0.1558) [-0.20297]	0.0586 (0.3165) [0.18519]	-0.0185 (0.0265) [-0.69651]	-0.0499 (0.1539) [-0.32437]	0.0477 (0.3051) [0.15638]	-0.0095 (0.0276) [-0.34278]	-0.0720 (0.1528) [-0.47134]	0.0895 (0.3064) [0.29205]
dPElec(-3)	0.0043 (0.0379) [0.11337]	0.0398 (0.1638) [0.24280]	0.6832 (0.3145) [2.17226]	0.0102 (0.0267) [0.38098]	0.0540 (0.1531) [0.35276]	0.6945 (0.3066) [2.26532]	-0.0045 (0.0257) [-0.17646]	0.0636 (0.1575) [0.40385]	0.5812 (0.3066) [1.89562]	-0.0030 (0.0265) [-0.11360]	0.1349 (0.1561) [0.86423]	0.6079 (0.3171) [1.91706]	-0.0026 (0.0267) [-0.09891]	0.1380 (0.1549) [0.89129]	0.6428 (0.3071) [2.09279]	0.0107 (0.0276) [0.38625]	0.1189 (0.1528) [0.77792]	0.7269 (0.3065) [2.37192]
dPElec(-4)	-0.0371 (0.0358) [-1.03645]	0.1331 (0.1546) [0.86099]	-0.0613 (0.2970) [-0.20636]	0.0165 (0.0262) [0.62986]	0.2571 (0.1503) [1.71098]	0.0826 (0.3010) [0.27443]	0.0206 (0.0247) [0.83253]	0.2584 (0.1517) [1.70317]	0.1176 (0.2954) [0.39822]	0.0199 (0.0253) [0.78891]	0.2220 (0.1487) [1.49352]	0.1042 (0.3019) [0.34507]	0.0204 (0.0254) [0.80446]	0.2213 (0.1471) [1.50403]	0.1279 (0.2918) [0.43841]	0.0115 (0.0269) [0.42874]	0.1962 (0.1490) [1.31638]	0.1229 (0.2988) [0.41131]

dPElec(-5)	-0.0163 (0.0355) [-0.45806]	0.0003 (0.1532) [0.00227]	0.1903 (0.2942) [0.64690]	0.0053 (0.0252) [0.21206]	0.0501 (0.1442) [0.34742]	0.2464 (0.2888) [0.85332]	-0.0228 (0.0257) [-0.88701]	0.0678 (0.1577) [0.43014]	0.0320 (0.3071) [0.10430]	-0.0218 (0.0263) [-0.83037]	0.1176 (0.1544) [0.76141]	0.0544 (0.3136) [0.17359]	-0.0244 (0.0265) [-0.91995]	0.0495 (0.1539) [0.32135]	-0.0645 (0.3052) [-0.21136]	-0.0011 (0.0259) [-0.04054]	0.0124 (0.1437) [0.08640]	0.0978 (0.2380) [0.33950]
dPElec(-6)	0.0453 (0.0355) [1.27653]	-0.0808 (0.1531) [-0.52784]	0.5563 (0.2940) [1.89193]	0.0357 (0.0250) [1.42655]	-0.0966 (0.1435) [-0.67324]	0.5503 (0.2875) [1.91426]	0.0266 (0.0238) [1.11653]	-0.0899 (0.1459) [-0.61610]	0.4828 (0.2842) [1.69906]	0.0253 (0.0247) [-1.02359]	-0.1516 (0.1452) [-1.04387]	0.4627 (0.2949) [1.56876]	0.0219 (0.0256) [0.85401]	-0.2336 (0.1484) [-1.57374]	0.2889 (0.2943) [0.98137]	0.0368 (0.0271) [1.35610]	-0.2405 (0.1504) [-1.59938]	0.2529 (0.3015) [0.483872]
dPElec(-7)	-0.0420 (0.0317) [-1.32507]	0.1611 (0.1367) [1.17861]	-0.0292 (0.2626) [-0.11108]	-0.0110 (0.0225) [-0.48960]	0.2246 (0.1291) [1.73905]	0.0182 (0.2587) [0.07030]	-0.0173 (0.0213) [-0.81067]	0.2309 (0.1309) [1.76362]	-0.0247 (0.2549) [-0.09686]	-0.0152 (0.0234) [-0.64833]	0.3425 (0.1376) [2.48925]	0.0242 (0.2794) [0.08664]	-0.0177 (0.0237) [-0.74490]	0.2782 (0.1375) [2.02342]	-0.0911 (0.2727) [-0.33425]	-0.0228 (0.0254) [-0.89741]	0.2360 (0.1406) [1.67870]	-0.0513 (0.2819) [-0.18182]
dPpetro(-1)	-0.0024 (0.0150) [-0.15899]	0.2237 (0.0648) [3.45243]	0.3309 (0.1245) [2.65864]	0.0109 (0.0106) [1.03091]	0.2368 (0.0606) [3.90901]	0.2901 (0.1214) [2.39065]	-0.0030 (0.0111) [-0.26926]	0.2444 (0.0681) [3.58943]	0.1814 (0.1326) [1.36862]	-0.0025 (0.0112) [-0.22663]	0.2548 (0.0660) [3.86324]	0.1774 (0.1339) [1.32475]	-0.0037 (0.0114) [-0.32330]	0.2512 (0.0664) [3.78390]	0.1892 (0.1316) [1.43743]	0.0123 (0.0109) [1.12942]	0.2426 (0.0604) [4.01303]	0.2539 (0.1212) [2.09465]
dPpetro(-2)	-0.0026 (0.0174) [-0.14735]	-0.0055 (0.0749) [-0.07326]	0.0229 (0.1439) [0.15913]	0.0033 (0.0120) [0.27644]	-0.0040 (0.0690) [-0.05848]	-0.0185 (0.1354) [-0.13392]	0.0044 (0.0113) [0.38525]	-0.0039 (0.0695) [-0.05678]	-0.0100 (0.1353) [-0.07402]	0.0043 (0.0114) [0.38003]	-0.0120 (0.0673) [-0.17853]	-0.0180 (0.1367) [-0.13134]	0.0039 (0.0116) [0.34011]	-0.0072 (0.0670) [-0.10727]	0.0044 (0.1329) [0.03333]	-0.0004 (0.0125) [-0.02844]	-0.0188 (0.0691) [-0.27247]	0.0185 (0.1386) [0.13318]
dPpetro(-3)	-0.0152 (0.0167) [-0.90783]	0.0815 (0.0721) [1.13053]	0.0396 (0.1385) [0.28597]	-0.0022 (0.0118) [-0.18782]	0.0977 (0.0676) [1.44522]	0.0149 (0.1354) [0.11031]	-0.0022 (0.0111) [-0.19792]	0.0981 (0.0681) [1.44157]	0.0162 (0.1325) [0.12194]	-0.0019 (0.0113) [-0.16625]	0.1103 (0.0662) [1.66635]	0.0180 (0.1344) [0.13379]	-0.0045 (0.0120) [-0.37029]	0.0685 (0.0698) [0.98109]	-0.0645 (0.1385) [-0.46561]	-0.0086 (0.0128) [-0.67185]	0.0532 (0.0710) [0.74894]	-0.0674 (0.1423) [-0.47366]
dPpetro(-4)	-0.0016 (0.0165) [-0.09659]	-0.0912 (0.0711) [-1.28263]	0.0827 (0.1365) [0.60622]	-0.0061 (0.0116) [-0.53254]	-0.1086 (0.0662) [-1.64083]	0.0357 (0.1325) [0.26957]	-0.0052 (0.0109) [-0.47473]	-0.1088 (0.0667) [-1.63233]	0.0436 (0.1298) [0.33630]	-0.0053 (0.0110) [-0.47785]	-0.1180 (0.0647) [-1.82527]	0.0370 (0.1313) [0.28210]	-0.0063 (0.0112) [-0.56798]	-0.1311 (0.0647) [-2.02524]	0.0145 (0.1284) [0.11261]	-0.0055 (0.0118) [-0.46669]	-0.1328 (0.0654) [-0.202875]	-0.0216 (0.1312) [-0.16486]
dPpetro(-5)	-0.0038 (0.0160) [-0.24042]	0.0845 (0.0689) [1.22583]	-0.0322 (0.1324) [-0.24290]	-0.0024 (0.0112) [-0.21679]	0.0763 (0.0644) [1.18493]	-0.0792 (0.1291) [-0.61355]	0.0014 (0.0107) [0.12948]	0.0741 (0.0654) [1.13284]	-0.0497 (0.1274) [-0.39020]	0.0018 (0.0109) [0.16149]	0.0889 (0.0639) [1.39070]	-0.0474 (0.1298) [-0.36505]	0.0001 (0.0112) [0.00703]	0.0676 (0.0650) [1.04119]	-0.0902 (0.1288) [-0.69988]	-0.0077 (0.0120) [-0.64549]	0.0589 (0.0664) [0.88731]	-0.1018 (0.1331) [-0.76484]
dPpetro(-6)	-0.0122 (0.0157) [-0.77351]	0.0102 (0.0679) [0.15016]	-0.0056 (0.1304) [-0.04290]	-0.0133 (0.0111) [-1.19902]	-0.0004 (0.0635) [-0.00606]	-0.0450 (0.1271) [-0.35394]	-0.0047 (0.0108) [-0.43641]	-0.0052 (0.0666) [-0.07756]	0.0213 (0.1296) [0.16474]	-0.0046 (0.0110) [-0.41545]	0.0015 (0.0646) [0.02275]	0.0219 (0.1312) [0.16666]	-0.0044 (0.0110) [-0.40367]	0.0130 (0.0639) [0.20407]	0.0460 (0.1268) [0.36271]	-0.0114 (0.0112) [-1.01657]	0.0184 (0.0623) [0.29516]	-0.0292 (0.1248) [-0.23366]
dPpetro(-7)	-0.0012 (0.0155) [-0.07888]	-0.0321 (0.0671) [-0.47881]	0.0125 (0.1288) [0.09682]	0.0014 (0.0109) [0.13161]	-0.0347 (0.0623) [-0.55677]	-0.0206 (0.1249) [-0.16511]	0.0020 (0.0102) [0.19482]	-0.0350 (0.0628) [-0.55807]	-0.0171 (0.1223) [-0.13963]	0.0024 (0.0104) [0.22758]	-0.0224 (0.0612) [-0.36604]	-0.0165 (0.1242) [-0.13304]	0.0036 (0.0109) [0.33197]	0.0147 (0.0631) [0.23242]	0.0722 (0.1252) [0.57688]	0.0039 (0.0115) [0.33757]	0.0157 (0.0636) [0.24661]	0.0739 (0.1276) [0.57942]
C	0.0075 (0.0027) [2.76206]	-0.0029 (0.0117) [-0.24946]	0.0129 (0.0225) [0.57108]	0.0039 (0.0019) [2.01564]	-0.0098 (0.0111) [-0.88868]	0.0097 (0.0221) [0.43950]	0.0036 (0.0018) [1.96002]	-0.0099 (0.0112) [-0.88820]	0.0069 (0.0217) [0.31623]	0.0036 (0.0019) [1.94200]	-0.0066 (0.0110) [-0.60660]	0.0084 (0.0223) [0.37915]	0.0042 (0.0021) [2.00494]	0.0040 (0.0121) [0.33016]	0.0293 (0.0240) [1.22312]	0.0040 (0.0022) [1.82872]	0.0057 (0.0121) [0.46981]	0.0449 (0.0242) [1.85668]
dK	-	-	-	0.2899 (0.0371) [7.80864]	0.6111 (0.2128) [2.87222]	0.5776 (0.4262) [1.35521]	0.2420 (0.0389) [6.22195]	0.6432 (0.2387) [2.69449]	0.2061 (0.4648) [0.44336]	0.2453 (0.0403) [6.09166]	0.7661 (0.2369) [3.23422]	0.2331 (0.4811) [0.48457]	0.2503 (0.0436) [5.73952]	0.8943 (0.2530) [3.53560]	0.6316 (0.5016) [1.25914]	0.3129 (0.0425) [7.35688]	0.8569 (0.2357) [3.63524]	0.8072 (0.4726) [1.70799]
dPIUS	-	-	-	-	-	-	0.2418 (0.0858) [2.81873]	-0.1316 (0.5265) [-0.25006]	1.8838 (1.0250) [1.83778]	0.2415 (0.0867) [2.78666]	-0.0887 (0.5099) [-0.17385]	1.9270 (1.0357) [1.86053]	0.2411 (0.0875) [2.75542]	-0.1060 (0.5076) [-0.20894]	1.7506 (1.0065) [1.73925]	-	-	-
dL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0308 (0.1354) [-0.22769]	-1.5957 (0.7963) [-2.00384]	-0.6516 (1.6174) [-0.40286]	-0.0355 (0.1361) [-0.26097]	-1.6280 (1.7894) [-2.06225]	-0.8073 (1.5655) [-0.51568]	-0.0373 (0.1441) [-0.25918]	-1.6137 (0.7983) [-2.02149]	-0.3361 (1.6006) [-0.21000]
di	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0045 (0.0082) [0.55205]	0.0909 (0.0474) [1.91812]	0.1973 (0.0940) [2.10000]	0.0010 (0.0093) [0.11113]	0.0926 (0.0514) [1.80288]	0.2786 (0.1030) [2.70564]

dPIBUS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0340 (0.0259)	0.0528 (0.1433)	-0.3153 (0.2874)
																[ 1.31322]	[ 0.36809]	[-1.09722]
<b>Resumen estimación</b>																		
R-squared	0.4217	0.4411	0.3966	0.7183	0.5202	0.4365	0.7556	0.5227	0.4703	0.7556	0.5613	0.4704	0.7578	0.5774	0.5135	0.7304	0.5706	0.4947
Adj. R-squared	0.1861	0.2134	0.1507	0.5960	0.3120	0.1920	0.6428	0.3023	0.2259	0.6358	0.3463	0.2107	0.6319	0.3576	0.2606	0.5902	0.3473	0.2320
Sum sq. resids	0.0095	0.1774	0.6543	0.0046	0.1523	0.6110	0.0040	0.1515	0.5743	0.0040	0.1392	0.5743	0.0040	0.1341	0.5275	0.0044	0.1363	0.5479
S.E. equation	0.0133	0.0573	0.1101	0.0094	0.0536	0.1074	0.0088	0.0540	0.1051	0.0089	0.0522	0.1061	0.0089	0.0518	0.1027	0.0094	0.0522	0.1047
F-statistic	1.7901	1.9369	1.6130	5.8749	2.4987	1.7850	6.6997	2.3723	1.9240	6.3069	2.6104	1.8117	6.0174	2.6270	2.0301	5.2094	2.5554	1.8828
Log likelihood	237.1790	124.5605	74.3071	264.8641	130.4405	76.9433	270.3417	130.6352	79.3283	270.3363	133.8882	79.3295	270.6869	135.3214	82.6037	266.5554	134.7101	81.1414
Akaike AIC	-5.5631	-2.6379	-1.3327	-6.2562	-2.7647	-1.3751	-6.3725	-2.7438	-1.4111	-6.3464	-2.8023	-1.3852	-6.3295	-2.8135	-1.4443	-6.2222	-2.7977	-1.4063
Schwarz SC	-4.8630	-1.9378	-0.6326	-5.5257	-2.0342	-0.6446	-5.6115	-1.9828	-0.6501	-5.5550	-2.0109	-0.5938	-5.5077	-1.9917	-0.6224	-5.4004	-1.9758	-0.5844
Mean dependent	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284	0.0060	0.0134	0.0284
S.D. dependent	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194	0.0147	0.0646	0.1194
Determinant resid covariance (dof adj.)		0.0000			0.0000			0.0000			0.0000			0.0000			0.0000	
Determinant resid covariance		0.0000			0.0000			0.0000			0.0000			0.0000			0.0000	
Log likelihood		456.2720			486.2560			493.9091			496.9910			500.9554			497.4070	
Akaike information criterion		-9.9811			-10.6820			-10.8028			-10.8050			-10.8300			-10.7379	
Schwarz criterion		-7.7895			-8.3990			-8.4286			-8.3394			-8.2731			-8.1810	

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en ( ); t estadístico en [ ].

### A3. Resultados de estimación por sectores.

Tipo de Modelo Número de rezagos	Primario		Secundario		Terciario	
	VAR 7		VEC 12		VEC 10	
<b>Ecuación de Cointegración</b>	-		CointEq1		CointEq1	
PIB(-1)	-		1		1	
PElec(-1)	-		-0.1941 (0.0219) [-8.86974]		-0.5795 (0.0624) [-9.28104]	
C	-		-8.338989		-8.586362	
	<b>d(PIBp)</b>	<b>d(PElecA)</b>	<b>d(PIBs)</b>	<b>d(PElecI)</b>	<b>d(PIBt)</b>	<b>d(PElecS)</b>
ECM(-1)	-		-0.0885 (0.0920) [-0.96215]		0.7217 (0.3474) [ 2.07750]	
d(PIB(-1))	0.1093 (0.1202) [ 0.90890]	1.0747 (1.7260) [ 0.62266]	-0.0706 (0.1374) [-0.51366]	0.1699 (0.5191) [ 0.32723]	-0.0063 (0.1229) [-0.05158]	0.1981 (0.1679) [ 1.18009]
d(PIB(-2))	0.1380 (0.1161) [ 1.18795]	3.1382 (1.6675) [ 1.88204]	0.1321 (0.1304) [ 1.01313]	-0.0103 (0.4928) [-0.02089]	0.0642 (0.1000) [ 0.64232]	-0.0654 (0.1365) [-0.47918]
d(PIB(-3))	-0.2094 (0.1145) [-1.82850]	0.5482 (1.6446) [ 0.33332]	0.0692 (0.1260) [ 0.54902]	0.2715 (0.4762) [ 0.57005]	-0.0616 (0.0982) [-0.62759]	-0.2345 (0.1341) [-1.74941]
d(PIB(-4))	-0.2899 (0.1134) [-2.55585]	0.1420 (1.6286) [ 0.08721]	-0.0706 (0.1177) [-0.59978]	-0.3641 (0.4447) [-0.81875]	-0.0605 (0.0997) [-0.60719]	-0.0936 (0.1362) [-0.68743]
d(PIB(-5))	0.1519 (0.1171) [ 1.29735]	-1.2634 (1.6814) [-0.75141]	0.1355 (0.1175) [ 1.15297]	-0.7792 (0.4440) [-1.75511]	0.0408 (0.0983) [ 0.41507]	0.0911 (0.1342) [ 0.67844]
d(PIB(-6))	-0.0999 (0.1176) [-0.84909]	1.4961 (1.6892) [ 0.88573]	-0.0162 (0.1201) [-0.13498]	-0.2245 (0.4536) [-0.49504]	-0.0382 (0.0990) [-0.38546]	0.0118 (0.1352) [ 0.08691]
d(PIB(-7))	0.0532 (0.1131) [ 0.47023]	-0.2927 (1.6234) [-0.18033]	0.0320 (0.1188) [ 0.26895]	0.2335 (0.4490) [ 0.52015]	0.1297 (0.0972) [ 1.33450]	0.0615 (0.1327) [ 0.46305]

d(PIB(-8))	-		-0.1145 (0.1161) [-0.98604]	-1.0295 (0.4387) [-2.34662]	-0.1846 (0.0961) [-1.91960]	-0.1420 (0.1313) [-1.08156]
d(PIB(-9))	-		-0.0608 (0.1120) [-0.54311]	-0.2305 (0.4231) [-0.54481]	-0.0570 (0.1004) [-0.56838]	-0.0247 (0.1371) [-0.18020]
d(PIB(-10))	-		0.0107 (0.1048) [ 0.10169]	0.2572 (0.3958) [ 0.64987]	0.0905 (0.0964) [ 0.93916]	-0.0998 (0.1316) [-0.75804]
d(PIB(-11))	-		0.0432 (0.1065) [ 0.40527]	0.3872 (0.4025) [ 0.96190]	-	
d(PIB(-12))	-		-0.0613 (0.1080) [-0.56695]	-0.7018 (0.4082) [-1.71923]	-	
d(PElec(-1))	0.0119 (0.0100) [ 1.19771]	-0.6864 (0.1429) [-4.80415]	-0.0051 (0.0387) [-0.13315]	0.1604 (0.1461) [ 1.09773]	-0.0018 (0.0961) [-0.01895]	-0.2605 (0.1313) [-1.98459]
d(PElec(-2))	0.0260 (0.0130) [ 1.99202]	-0.4852 (0.1871) [-2.59402]	-0.0236 (0.0384) [-0.61510]	-0.1346 (0.1452) [-0.92710]	-0.0054 (0.1011) [-0.05350]	-0.0791 (0.1381) [-0.57264]
d(PElec(-3))	0.0253 (0.0153) [ 1.65670]	-0.4209 (0.2195) [-1.91796]	0.0000 (0.0376) [ 0.00070]	-0.1612 (0.1421) [-1.13427]	-0.0332 (0.1044) [-0.31801]	0.1739 (0.1425) [ 1.21987]
d(PElec(-4))	0.0275 (0.0162) [ 1.69314]	-0.2689 (0.2331) [-1.15319]	0.0097 (0.0365) [ 0.26673]	0.0729 (0.1381) [ 0.52797]	0.0874 (0.1086) [ 0.80480]	0.0295 (0.1483) [ 0.19884]
d(PElec(-5))	0.0234 (0.0154) [ 1.51500]	-0.0329 (0.2214) [-0.14854]	-0.0027 (0.0359) [-0.07557]	0.1335 (0.1358) [ 0.98271]	-0.1411 (0.1095) [-1.28844]	0.0229 (0.1495) [ 0.15346]
d(PElec(-6))	0.0123 (0.0135) [ 0.91190]	-0.0290 (0.1939) [-0.14954]	0.0529 (0.0350) [ 1.50942]	-0.0713 (0.1324) [-0.53887]	0.0254 (0.1082) [ 0.23449]	-0.0444 (0.1478) [-0.30018]
d(PElec(-7))	0.0091 (0.0102) [ 0.89706]	-0.0119 (0.1460) [-0.08121]	-0.0089 (0.0360) [-0.24683]	0.1006 (0.1359) [ 0.74050]	0.0658 (0.1009) [ 0.65184]	0.0461 (0.1379) [ 0.33453]

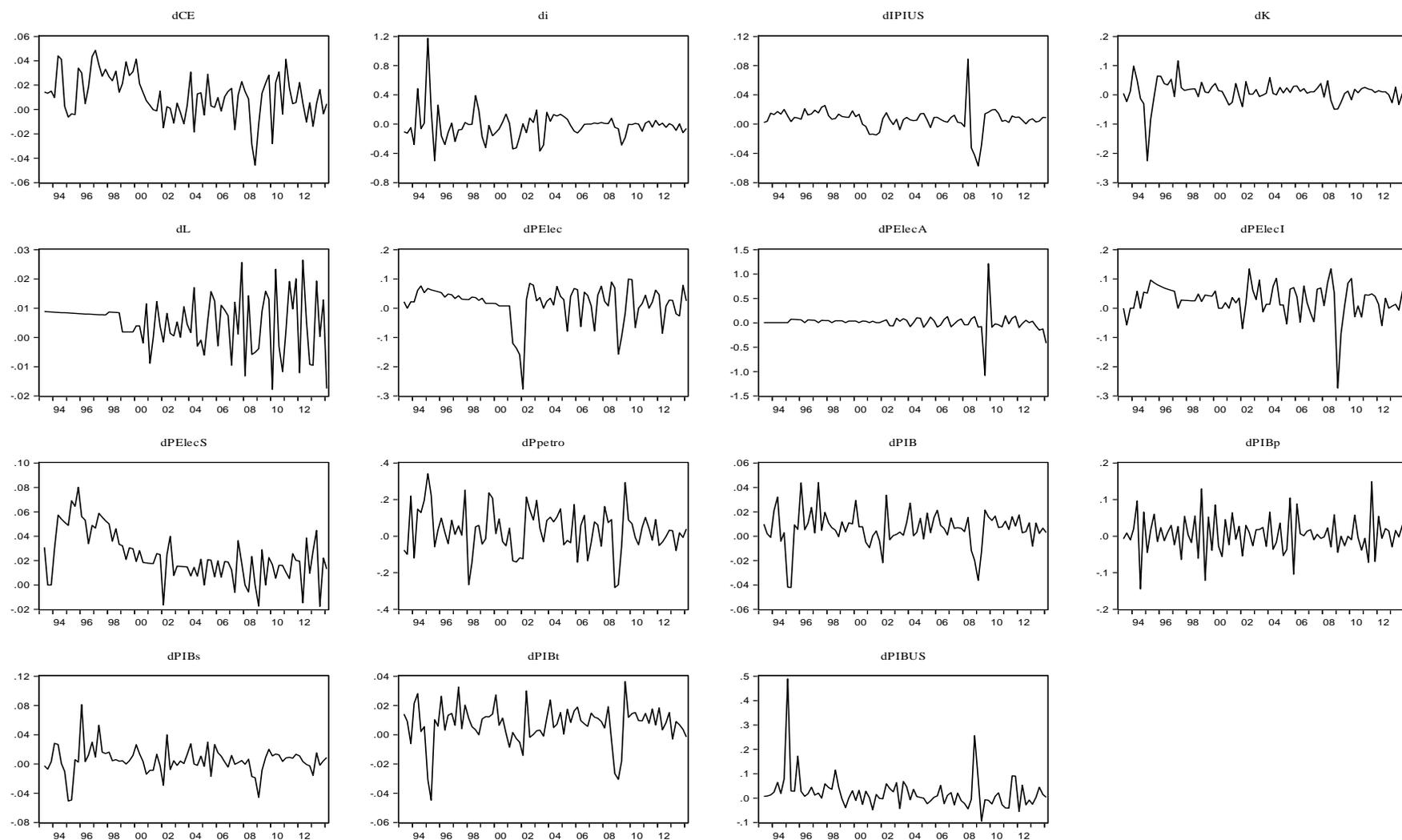
d(PElec(-8))	-		0.0455 (0.0367) [ 1.24012]	0.1016 (0.1387) [ 0.73242]	0.1084 (0.0971) [ 1.11623]	-0.0899 (0.1326) [-0.67788]	
d(PElec(-9))	-		0.0098 (0.0356) [ 0.27633]	-0.1383 (0.1345) [-1.02857]	-0.0495 (0.0922) [-0.53746]	0.1641 (0.1259) [ 1.30417]	
d(PElec(-10))	-		-0.0051 (0.0350) [-0.14621]	-0.1577 (0.1321) [-1.19393]	-0.0411 (0.0885) [-0.46496]	0.0187 (0.1208) [ 0.15486]	
d(PElec(-11))	-		0.0094 (0.0345) [ 0.27361]	0.0700 (0.1304) [ 0.53654]	-		
d(PElec(-12))	-		0.0012 (0.0337) [ 0.03436]	-0.0284 (0.1272) [-0.22301]	-		
C	0.0023 (0.0022) [ 1.04686]	0.0207 (0.0319) [ 0.64696]	0.0000 (0.0037) [-0.00852]	0.0306 (0.0141) [ 2.17454]	0.0055 (0.0054) [ 1.01168]	0.0233 (0.0074) [ 3.13988]	
dIPIUS	0.3533 (0.0959) [ 3.68390]	-0.7383 (1.3771) [-0.53616]	0.4455 (0.1237) [ 3.60072]	0.9873 (0.4675) [ 2.11196]	0.4317 (0.0819) [ 5.27121]	-0.0220 (0.1119) [-0.19628]	
<b>Resumen de estimación</b>							
R-squared	0.3992	0.3476	0.4680	0.4880	0.5215	0.6702	
Adj. R-squared	0.2514	0.1871	0.1606	0.1922	0.3151	0.5280	
Sum sq. resids	0.0099	2.0389	0.0080	0.1145	0.0046	0.0085	
S.E. equation	0.0127	0.1828	0.0133	0.0504	0.0095	0.0129	
F-statistic	2.7018	2.1664	1.5227	1.6496	2.5265	4.7113	
Log likelihood	235.7060	30.5503	225.5291	129.8214	253.6543	230.5883	
Akaike AIC	-5.7066	-0.3779	-5.5147	-2.8561	-6.2339	-5.6105	
Schwarz SC	-5.2196	0.1091	-4.6609	-2.0024	-5.5178	-4.8944	
Mean dependent	0.0060	0.0104	0.0054	0.0246	0.0079	0.0213	
S.D. dependent	0.0147	0.2028	0.0146	0.0561	0.0114	0.0188	
Determinant resid covariance (dof adj.)		0.0000		0.0000		0.0000	
Determinant resid covariance		0.0000		0.0000		0.0000	
Log likelihood		266.2622		356.4621		486.8916	
Akaike information criterion		-6.0847		-8.3462		-11.8619	
Schwarz criterion		-5.1107		-6.5754		-10.3674	

Fuente: Elaboración propia.

-Errores estándar en ( ); t estadístico en [ ].

\*Los coeficientes del precio de la electricidad y del PIB son de acuerdo a la ecuación que se estimó (Precio de la electricidad agrícola con PIB primario, Precio de la electricidad industrial con PIB secundario, y Precio de la electricidad en los Servicios con PIB terciario).

#### A4. Gráfico de variables en primera diferencia.



Fuente: Elaboración propia con datos del BEA, INEGI, SE.

\*Las variables en niveles están expresadas en logaritmos naturales.

**A5.** Criterios de información.

*Primer modelo*

Rezagos	-			dK			dK, dIPIUS		
	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ
0	-11.3737	-11.31144*	-11.3489	-12.3931	-12.26853*	-12.34339*	-12.4418	-12.25500*	-12.36729*
1	-11.4442	-11.2574	-11.3697	-12.4024	-12.1533	-12.3031	-12.4547	-12.1433	-12.3305
2	-11.4274	-11.1160	-11.3031	-12.3450	-11.9714	-12.1959	-12.3935	-11.9576	-12.2196
3	-11.4953	-11.0594	-11.3214	-12.4126	-11.9145	-12.2139	-12.4687	-11.9082	-12.2451
4	-11.5911	-11.0306	-11.3675	-12.4433	-11.8206	-12.1949	-12.4671	-11.7821	-12.1938
5	-11.6682	-10.9832	-11.39497*	-12.54781*	-11.8006	-12.2497	-12.57023*	-11.7607	-12.2473
6	-11.6558	-10.8463	-11.3329	-12.5080	-11.6362	-12.1602	-12.5056	-11.5716	-12.1330
7	-11.6151	-10.6810	-11.2425	-12.4147	-11.4184	-12.0173	-12.4134	-11.3548	-11.9911
8	-11.70645*	-10.6478	-11.2842	-12.4361	-11.3152	-11.9890	-12.4234	-11.2402	-11.9514
9	-11.6444	-10.4612	-11.1724	-12.4093	-11.1638	-11.9124	-12.3730	-11.0653	-11.8513
10	-11.5594	-10.2517	-11.0377	-12.3831	-11.0131	-11.8366	-12.3412	-10.9089	-11.7698

Rezagos	Variables exógenas								
	dK, dIPIUS, dL			dK, dIPIUS, dL, di			dK, dPIBUS, dL, di		
	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ
0	-12.4210	-12.17192*	-12.32164*	-12.3973	-12.08590*	-12.27305*	-12.3144	-12.00302*	-12.19017*
1	-12.4332	-12.0595	-12.2841	-12.3973	-11.9614	-12.2234	-12.2964	-11.8605	-12.1225
2	-12.3672	-11.8691	-12.1685	-12.3369	-11.7764	-12.1133	-12.2406	-11.6801	-12.0170
3	-12.4409	-11.8182	-12.1925	-12.4057	-11.7207	-12.1324	-12.3118	-11.6269	-12.0386
4	-12.4426	-11.6953	-12.1445	-12.4095	-11.6000	-12.0866	-12.3423	-11.5327	-12.0193
5	-12.53194*	-11.6601	-12.1842	-12.50139*	-11.5673	-12.1288	-12.46172*	-11.5276	-12.0891
6	-12.4682	-11.4718	-12.0707	-12.4355	-11.3769	-12.0132	-12.4283	-11.3697	-12.0060
7	-12.3749	-11.2540	-11.9277	-12.3450	-11.1619	-11.8730	-12.3379	-11.1547	-11.8659
8	-12.3854	-11.1400	-11.8886	-12.3571	-11.0493	-11.8354	-12.3735	-11.0658	-11.8518
9	-12.3331	-10.9631	-11.7865	-12.3062	-10.8739	-11.7349	-12.3553	-10.9230	-11.7839
10	-12.3099	-10.8154	-11.7138	-12.2687	-10.7119	-11.6476	-12.3405	-10.7837	-11.7195

Segundo modelo

Rezagos	-			dK			dK, dIPIUS		
	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ
0	-2.5709	-2.4782	-2.5339	-2.6206	-2.4352	-2.5465	-2.5501	-2.2720	-2.4391
1	-10.6322	-10.26141*	-10.4842	-11.4757	-11.01217*	-11.2906	-11.5477	-10.99147*	-11.3256
2	-10.75441*	-10.1055	-10.49532*	-11.63672*	-10.8951	-11.34061*	-11.72853*	-10.8942	-11.39540*
3	-10.6275	-9.7005	-10.2573	-11.5195	-10.4998	-11.1123	-11.6159	-10.5035	-11.1718
4	-10.4775	-9.2724	-9.9963	-11.3926	-10.0948	-10.8744	-11.4948	-10.1043	-10.9396
5	-10.4677	-8.9845	-9.8755	-11.3423	-9.7664	-10.7131	-11.4439	-9.7753	-10.7777
6	-10.3537	-8.5924	-9.6504	-11.2234	-9.3694	-10.4832	-11.3210	-9.3743	-10.5437
7	-10.2503	-8.2110	-9.4360	-11.0731	-8.9410	-10.2218	-11.1721	-8.9473	-10.2837
8	-10.1960	-7.8785	-9.2706	-10.9771	-8.5669	-10.0148	-11.0957	-8.5928	-10.0963
9	-10.2687	-7.6731	-9.2323	-11.0744	-8.3861	-10.0010	-11.1985	-8.4175	-10.0881
10	-10.3580	-7.4843	-9.2106	-11.2658	-8.2994	-10.0814	-11.4763	-8.4172	-10.2548

Rezagos	Variables exógenas								
	dK, dIPIUS, dL			dK, dIPIUS, dL, di			dK, dPIBUS, dL, di		
	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ
0	-2.4816	-2.1108	-2.3336	-2.4513	-1.9878	-2.2662	-2.5536	-2.0901	-2.3685
1	-11.5451	-10.89619*	-11.2860	-11.6114	-10.86983*	-11.31532*	-11.5445	-10.80294*	-11.24842*
2	-11.70680*	-10.7798	-11.33666*	-11.71561*	-10.6959	-11.3085	-11.64857*	-10.6289	-11.2414
3	-11.5799	-10.3748	-11.0987	-11.5915	-10.2937	-11.0733	-11.5098	-10.2120	-10.9916
4	-11.4591	-9.9759	-10.8668	-11.5196	-9.9437	-10.8904	-11.4401	-9.8642	-10.8109
5	-11.4005	-9.6392	-10.6973	-11.4754	-9.6214	-10.7351	-11.3909	-9.5369	-10.6506
6	-11.2769	-9.2375	-10.4626	-11.3483	-9.2162	-10.4969	-11.2669	-9.1348	-10.4155
7	-11.1255	-8.8081	-10.2002	-11.1982	-8.7880	-10.2358	-11.1045	-8.6943	-10.1421
8	-11.1026	-8.5070	-10.0662	-11.1680	-8.4797	-10.0946	-11.0252	-8.3369	-9.9518
9	-11.1593	-8.2856	-10.0119	-11.1660	-8.1996	-9.9816	-11.0171	-8.0507	-9.8326
10	-11.4417	-8.2899	-10.1832	-11.4697	-8.2253	-10.1743	-11.2161	-7.9716	-9.9206

Por Sectores

Rezagos	Sector Primario			Sector Secundario			Sector Terciario		
	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ	AIC	SC	HQ
0	-6.1871	-6.1248	-6.1622	-2.1965	-2.1347	-2.1718	-2.5235	-2.4617	-2.4988
1	-6.3268	-6.139939*	-6.252232*	-8.4588	-8.273435*	-8.384806*	-12.0208	-11.83535*	-11.94672*
2	-6.359488*	-6.0481	-6.2353	-8.4225	-8.1135	-8.2992	-12.03460*	-11.7256	-11.9112
3	-6.3496	-5.9137	-6.1757	-8.519966*	-8.0874	-8.3472	-11.9703	-11.5377	-11.7976
4	-6.3492	-5.7888	-6.1257	-8.4741	-7.9179	-8.2520	-11.9235	-11.3673	-11.7014
5	-6.2909	-5.6059	-6.0177	-8.4136	-7.7338	-8.1422	-11.8281	-11.1483	-11.5567
6	-6.2262	-5.4167	-5.9033	-8.4758	-7.6724	-8.1550	-11.7934	-10.9900	-11.4726
7	-6.1470	-5.2130	-5.7744	-8.3986	-7.4716	-8.0285	-11.7109	-10.7839	-11.3407
8	-6.1547	-5.0961	-5.7324	-8.3059	-7.2553	-7.8864	-11.6087	-10.5581	-11.1892
9	-6.0595	-4.8763	-5.5875	-8.2706	-7.0964	-7.8017	-11.5786	-10.4044	-11.1098
10	-5.9538	-4.6460	-5.4321	-8.2200	-6.9222	-7.7018	-11.5069	-10.2091	-10.9887

**Fuente: Elaboración propia.**

\*Indica el orden de rezagos seleccionado por el criterio de información.

AIC: Criterio de información de Akaike.

SC: Criterio de información de Schwarz.

HQ: Criterio de información de Hannan-Quinn.

**A6.** Prueba de cointegración de Johansen – Estimación por sectores.

Sector Primario

**Prueba de la traza**

H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico de trazo	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.1301	14.6835	15.4947	0.0660
Máximo 1	0.0500	3.9527	3.8415	0.0468

**Prueba de eigenvalores**

H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico Eigen-Max	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.1301	10.7307	14.2646	0.1682
Máximo 1	0.0500	3.9527	3.8415	0.0468

- Se consideran 8 rezagos en la estimación.

Sector Secundario

**Prueba de la traza**

H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico de trazo	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.2611	27.7075	15.4947	0.0005
Máximo 1	0.0741	5.6166	3.8415	0.0178

**Prueba de eigenvalores**

H0: ecuaciones de cointegración	Eigenvalor	Estadístico Eigen-Max	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.2611	22.0909	14.2646	0.0024
Máximo 1	0.0741	5.6166	3.8415	0.0178

- Se consideran 12 rezagos en la estimación.

Sector Terciario

**Prueba de la traza**

H0: ecuaciones que cointegran	Eigenvalor	Estadístico de trazo	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.2201	18.7539	15.4947	0.0155
Máximo 1	0.0014	0.1084	3.8415	0.7420

**Prueba de eigenvalores**

H0: ecuaciones que cointegran	Eigenvalor	Estadístico Eigen-Max	Valor crítico 0.05	Prob.
Ninguna	0.2201	18.6456	14.2646	0.0095
Máximo 1	0.0014	0.1084	3.8415	0.7420

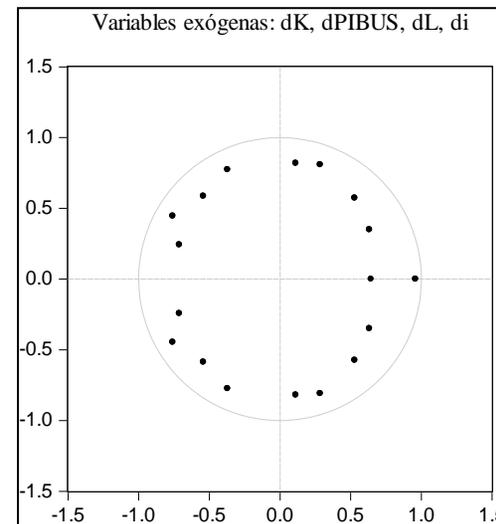
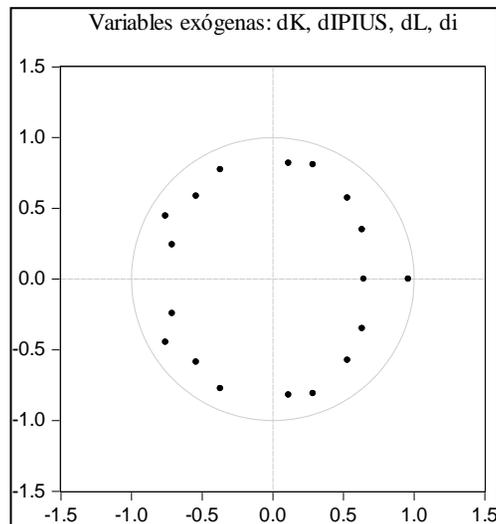
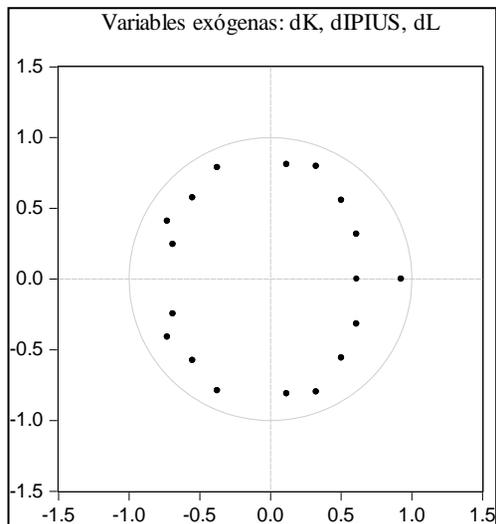
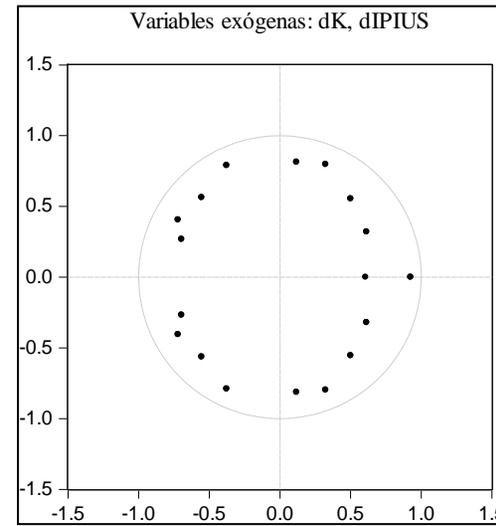
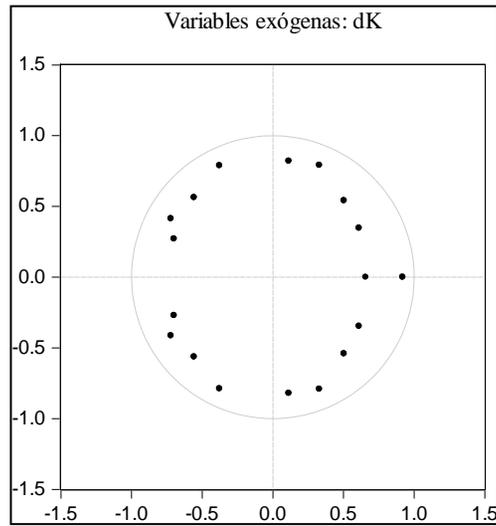
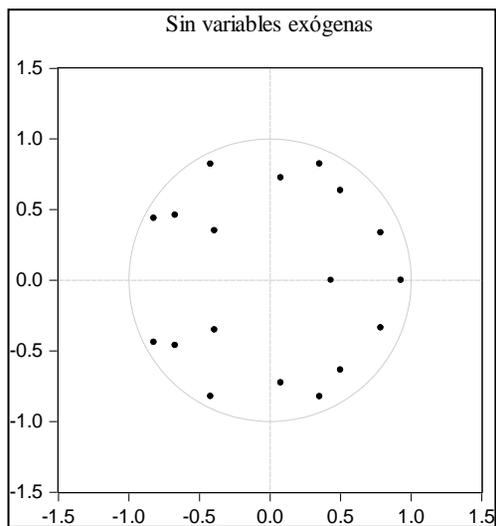
- Se consideran 10 rezagos en la estimación.

Fuente: Elaboración propia.

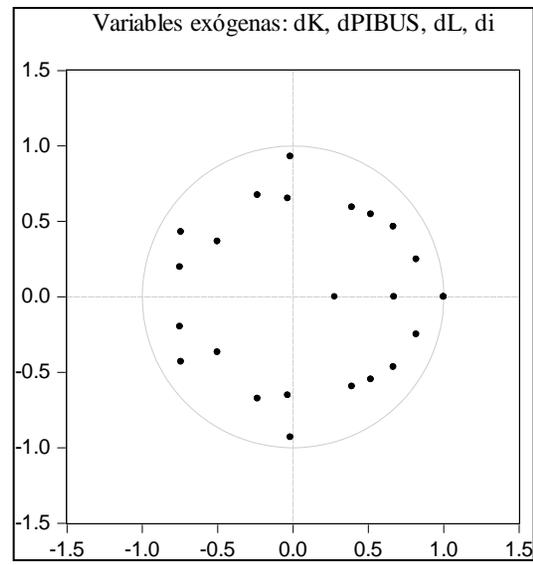
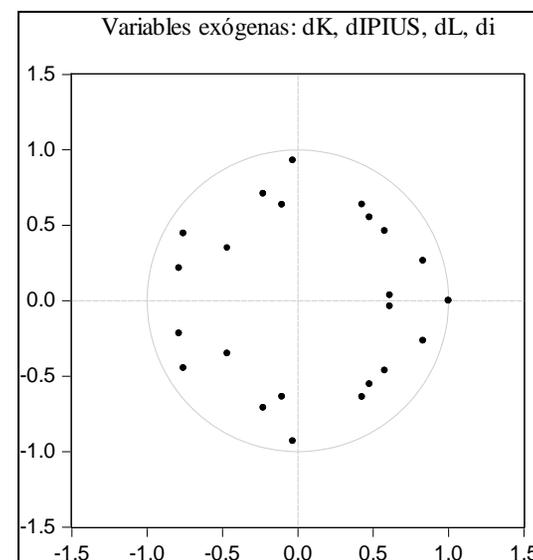
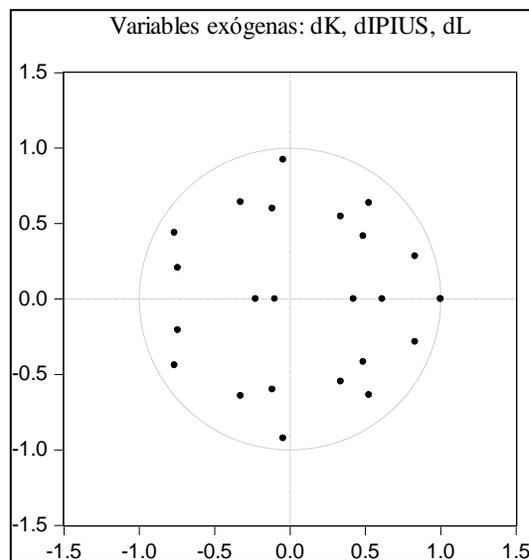
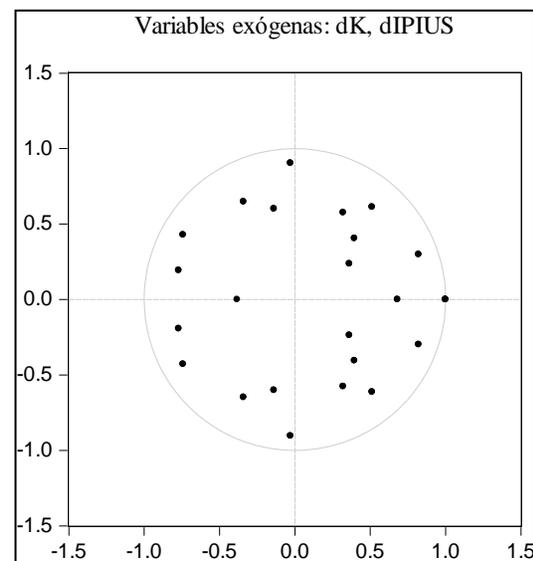
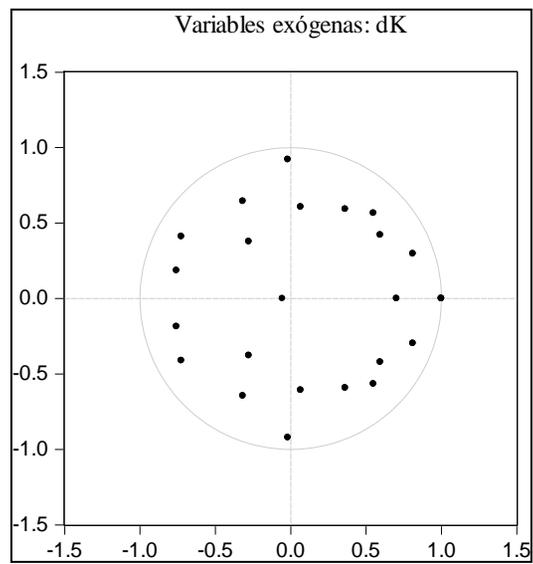
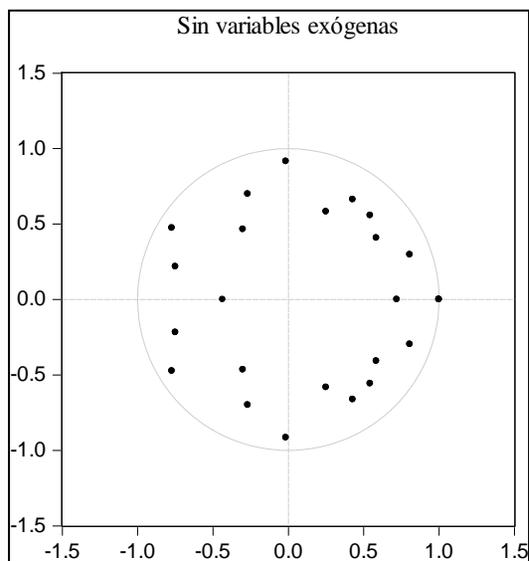
Los p-valores de Mackinnon-Haug-Michelis (1999).

## A7. Pruebas de estabilidad.

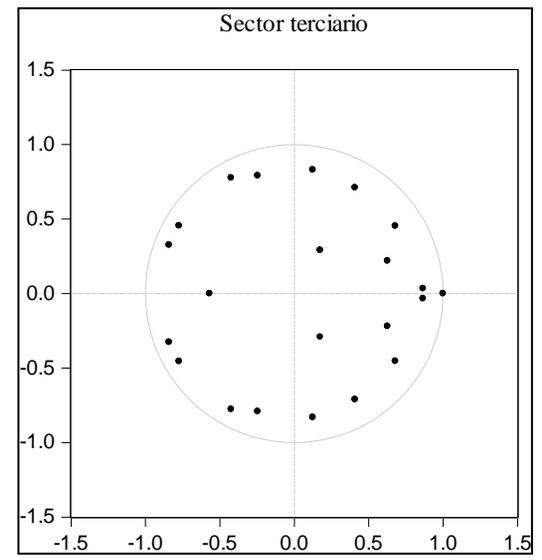
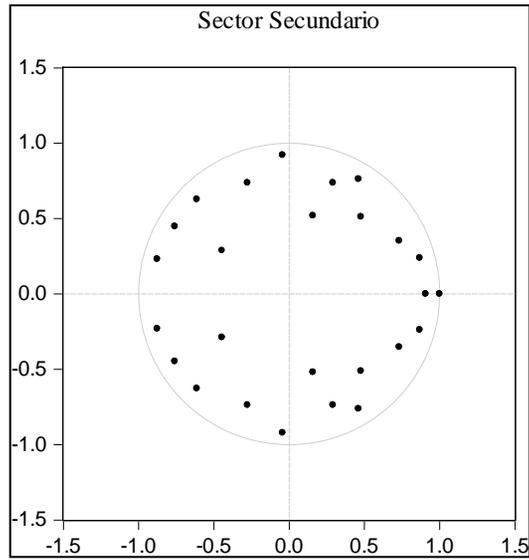
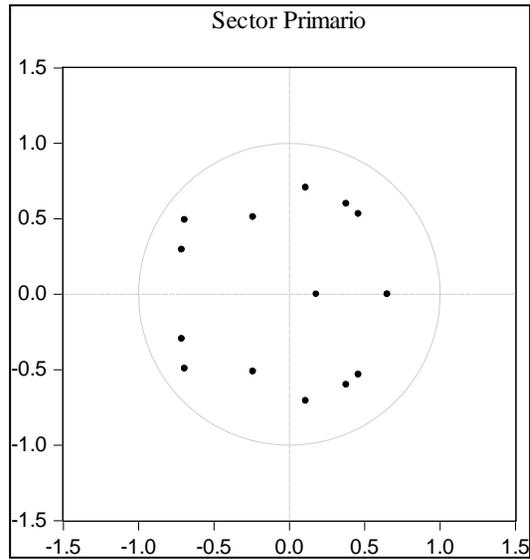
### Raíz inversa del polinomio característico AR – primer modelo



### Raíz inversa del polinomio característico AR – segundo modelo



### Raíz inversa del polinomio característico AR – por sectores



El autor es Licenciado en Economía por la Universidad Autónoma de Baja California. Egresado de la Maestría en Economía Aplicada de El Colegio de la Frontera Norte.

Correo electrónico: [rene.zama90@gmail.com](mailto:rene.zama90@gmail.com)

*© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*

Forma de citar:

Zamarripa Villa, Nayib R. (2016). “Consumo de electricidad y crecimiento económico en México: Análisis de series de tiempo y prospectiva”. Tesis de Maestría en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México.