



# **COLEGIO DE POSTGRUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIONEN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

---

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMATICA  
ECONOMÍA**

**“ANÁLISIS DE LA DEMANDA RESIDENCIAL DE ELECTRICIDAD EN EL ESTADO  
DE MÉXICO CON SERIES TEMPORALES: UN TRATAMIENTO DE  
COINTEGRACIÓN”**

**JORGE ALBERTO ORTIZ VELÁZQUEZ**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2015

La presente tesis titulada: "Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México con series temporales: un tratamiento de cointegración" realizada por el alumno: JORGE ALBERTO ORTIZ VELÁZQUEZ bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



\_\_\_\_\_  
DRA. GRACIELA MARGARITA BUENO AGUILAR

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ JAIME ARANA CORONADO

ASESORA

  
\_\_\_\_\_  
DRA. BERTHA SOFÍA LARQUÉ SAAVEDRA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2015

## **Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México con series temporales: un tratamiento de cointegración**

Jorge Alberto Ortiz Velázquez

Colegio de Postgraduados 2015

En este estudio se analiza la demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México, debido a que ésta es la mayor a nivel nacional y a la coyuntura de una reforma energética en el país llevada a cabo en el año 2013, la cual tiene entre sus objetivos disminuir el precio medio del servicio eléctrico en todos los sectores. En este sentido, la idea principal consistió en estimar las elasticidades de corto y largo plazo de los principales determinantes de la demanda eléctrica y conocer las implicaciones económicas que puede tener en la población de este Estado dadas sus actuales características socioeconómicas.

Para el análisis se utilizaron las series de tiempo de seis variables (consumo eléctrico, ingreso proxy, precio de la electricidad, precio del agua, precio del gas L.P y el número de usuarios del servicio eléctrico) con datos del 2002 al 2014 en frecuencia mensual. La metodología consistió en primer lugar en el uso del método multivariante de cointegración de Johansen, el cual permitió encontrar un vector de cointegración congruente con la teoría del consumidor, los coeficientes de éste fueron interpretados como las elasticidades de largo plazo resultando así una elasticidad precio de -0.16% e ingreso de 0.67%. En segundo lugar mediante la realización de un modelo vector de corrección de errores (MVCE) se obtuvieron los coeficientes que se interpretaron como las elasticidades de corto plazo, resultando así una elasticidad precio de -0.15% e ingreso de 0.66%.

Se concluyó que los beneficios que pretende obtener la actual reforma energética respecto a una disminución en el precio medio del servicio eléctrico, tendrán un mayor efecto positivo en la medida que servicios y bienes relacionados en el sector residencial (agua y gas L.P) mantengan un precio relativamente constante a través del tiempo con la finalidad de aminorar la cantidad de ingreso disponible que la población en el Estado de México destina a estos.

**Palabras clave:** Demanda de energía eléctrica, reforma energética, cointegración, vector de corrección de errores, elasticidades

# **Analysis of residential demand for electricity in México state with time series: cointegration treatment**

By Jorge Ortiz Velázquez  
Colegio de Postgraduados, 2015

This research is the analyse of residencial electricity demand in the state of Mexico, because this is the most important at national level and also for a energetic reform situation (since 2013). This Reform has as objective to decrease rates of electrical service in every sector. In this context, the main idea is to estimate the elasticities in terms of short- and long-term of the determining factors of electrical demand, and also be aware of economics implications that could happen in population of this State with this characteristics.

Six time series were used to do the analysis (power consupcion, proxy income, Price of electricity, wáter pricing, LP gas prices and also the number of users of electrical service). Data from 2002 oto2014 were used on monthly frequency. The Metodology consisted firstly on the use of multivariate cointegration method johansen, which allowed to find a cointegration vector consistent with the consumer theory, the coefficients that resulting from this vector were interpreted as the long-term elasticities, resulting in Price elasticity -0.16% and income of 0.67%. Secondly, by means of vector model for mistake correction (MVCE) coefficients were obtained and interpreted as the short-term elasticities, resulting in a Price elasticity of -0.15% and income of 0.66% was obtained.

It concluded that benefits that intend to obtain with the current energy reform with respect to a decrease in the average Price of electricity, it will have a greater positive effect on the extend related goods and services in the residencial sector (wáter and gas) to maintain a Price relatively constant over time in order to reduce the amount of income available to the population in the Satate of Mexico devoted to these.

**Keywords:** demand for electric power, energy reform, cointegration, vector model for mistke correction, elasticities.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de continuar con mi crecimiento profesional y personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de Postgrado.

### **A MI CONSEJO PARTICULAR:**

A la Dra. Graciela Margarita Bueno Aguilar quien fue mi profesora consejera durante los estudios en la maestría, por su confianza brindada, por la atinada dirección en la presente tesis y el apoyo incondicional para la culminación de ésta meta.

Al Dr. José Jaime Arana Coronado, por el apoyo y la asesoría proporcionada durante mis estudios de maestría y el desarrollo del trabajo de tesis.

A la Dra. Bertha Sofía Larqué Saavedra por el valioso tiempo dedicado a la asesoría en el presente trabajo.

Al Postgrado de Economía, a su grupo de académicos, administrativos y alumnos, así como a los profesores de otros postgrados con los cuales tomé cursos, por contribuir en mi formación profesional y por el apoyo brindado durante el proceso de mis estudios de Maestría en esta institución.

# CONTENIDO

---

|  |          |
|--|----------|
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>                              | <b>1</b> |
| 1.1 Planteamiento del problema                               | 3        |
| 1.2 Pregunta de investigación                                | 5        |
| 1.3 Objetivos de la investigación                            | 6        |
| 1.4 Hipótesis  | 6        |
| <br>   |          |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEORICO</b>                            | <b>8</b> |
| 2.1 Revisión de literatura                                   | 8        |
| 2.2 Formas funcionales de la demanda de energía eléctrica    | 12       |
| 2.3 La teoría del consumidor                                 | 13       |
| 2.4 Factores determinantes de la demanda                     | 15       |
| 2.4.1 Precio   | 16       |
| 2.4.2 Ingreso  | 16       |
| 2.4.3 Bienes complementarios y sustitutos                    | 16       |
| 2.4.4 Población  | 17       |
| 2.4.5 Gustos y preferencias de los consumidores              | 17       |
| 2.4.6 Expectativas de precios e ingresos de los consumidores | 17       |
| 2.5 Elasticidades de la demanda                              | 17       |
| 2.5.1 Elasticidad precio propia de la demanda                | 18       |
| 2.5.2 Elasticidad ingreso de la demanda                      | 19       |
| 2.5.3 Elasticidad cruzada de la demanda                      | 20       |
| 2.6 Cointegración de series de tiempo económicas             | 20       |
| 2.7 Enfoque de cointegración de Soren Johansen               | 22       |
| 2.7.1 Orden de integración de las series de tiempo           | 22       |
| 2.7.1.1 Pruebas informales                                   | 23       |
| 2.7.1.2 Pruebas Formales                                     | 25       |
| 2.7.2 Especificación del modelo Vector Autorregresivo (VAR)  | 29       |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.7.2.1   | Determinación del retardo óptimo del VAR.....   | 30        |
| 2.7.2.2   | Diagnóstico de los residuos del VAR estimado .....  | 33        |
| 2.7.2.3   | Conclusión general del diagnóstico del VAR y prueba de los residuos.....                        | 36        |
| 2.7.3   | Prueba de la traza y prueba de eigenvalor máximo .....  | 36        |
| 2.7.4   | Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC) .....  | 37        |
| <br><b>CAPÍTULO III. MARCO CONTEXTUAL</b> .....   |   | <b>38</b> |
| 3.1   | Reforma constitucional nacional en materia de energía del año 2013 .....                        | 38        |
| 3.2   | Diagnóstico del sector eléctrico .....  | 40        |
| 3.3   | La reforma al sector eléctrico nacional .....   | 45        |
| 3.4   | Beneficios de la reforma energética en materia de electricidad .....                            | 49        |
| <br><b>CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA</b> .....   |   | <b>52</b> |
| 4.1   | Especificación del modelo de demanda de energía eléctrica en el Estado de México.....           | 52        |
| 4.2   | Series de tiempo de las variables utilizadas en el modelo de demanda .....                      | 54        |
| <br><b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL METODO DE COINTEGRACION DE JOHANSEN</b> ..... |   | <b>56</b> |
| 5.1   | Orden de integración de las series de tiempo incluidas en el modelo de demanda ..               | 56        |
| 5.2   | Modelo Vector Autorregresivo (VAR).....   | 58        |
| 5.3   | Pruebas de cointegración de Johansen y elasticidades de la demanda de largo plazo               | 64        |
| 5.4   | Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC) y elasticidades de la demanda de corto plazo ..... | 70        |
| 5.5   | Discusión de resultados .....   | 72        |
| <br><b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES</b> .....  |   | <b>75</b> |
| <br><b>REFERENCIAS</b> .....  |   | <b>76</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANEXOS</b>  | <b>79</b> |
| Anexo A. Datos y estadísticas descriptivas                       | 79        |
| Anexo B. Pruebas informales de integrabilidad                    | 84        |
| Anexo C. Pruebas formales de integrabilidad                      | 88        |
| Anexo D. Modelo Vector Autorregresivo (VAR)                      | 92        |
| Anexo E. Pruebas de diagnóstico de los residuos del VAR estimado | 95        |
| Anexo F. Pruebas de cointegración de Johansen                    | 101       |
| Anexo G. Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC)            | 106       |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1.1 Porcentajes de usuarios y ventas de electricidad por sector en México, 2013                        | 4  |
| Tabla 1.2 Principales Estados consumidores de energía eléctrica en el sector residencial                     | 4  |
| Tabla 2.1 Estudios sobre elasticidades de la demanda de energía eléctrica en México y otros países           | 11 |
| Tabla 5.1 Prueba de raíces unitarias ADF   | 57 |
| Tabla 5.2 Raíces autorregresivas   | 59 |
| Tabla 5.3 Prueba de longitud del retardo   | 61 |
| Tabla 5.4 Prueba de exclusión de retardos  | 62 |
| Tabla 5.5 Resumen de supuestos   | 64 |
| Tabla 5.6 Prueba de Traza  | 65 |
| Tabla 5.7 Prueba de Eigenvalor Máximo  | 66 |
| Tabla 5.8 Vector de cointegración normalizado  | 67 |
| Tabla 5.9 Clasificación de elasticidades de largo plazo obtenidas  | 68 |
| Tabla 5.10 Modelo vector de corrección de errores normalizado  | 70 |
| Tabla 5.11 Clasificación de elasticidades de corto plazo obtenidas   | 71 |
| Tabla 5.12 Discusión de elasticidades de la demanda de energía eléctrica calculadas para el Estado de México | 72 |
| Tabla A.1 Series de tiempo   | 79 |
| Tabla A.2 Estadísticas descriptivas de los datos   | 83 |
| Tabla A.3 Coeficiente de correlación   | 83 |
| Tabla C.1 Prueba de raíz unitaria de la serie $Q_t$  | 88 |
| Tabla C.2 Prueba de raíz unitaria de la serie $Y_t$  | 89 |
| Tabla C.3 Prueba de raíz unitaria de la serie $P_{et}$   | 89 |
| Tabla C.4 Prueba de raíz unitaria de la serie $P_{at}$   | 90 |
| Tabla C.5 Prueba de raíz unitaria de la serie $P_{gt}$   | 90 |
| Tabla C.6 Prueba de raíz unitaria de la serie $U_t$  | 91 |
| Tabla D.1 Resultado del modelo VAR estimado con 6 retardos   | 92 |
| Tabla E.1 Estadístico multivariado Q, de Box-Pierce/Ljung-Box para la prueba de autocorrelación              | 95 |
| Tabla E.2 Prueba de multiplicador de Lagrange (LM)   | 96 |
| Tabla E.3 Prueba de normalidad de los residuos   | 97 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla E.4 Prueba de heterocedasticidad de los residuos | 98  |
| Tabla F.1 Prueba de traza y máximo eigenvalor          | 101 |
| Tabla G.1 Modelo vector de corrección de errores       | 106 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.1 Restricción presupuestaria   | 13  |
| Figura 2.2 Mapa de curvas de indiferencia   | 14  |
| Figura 2.3 Mapa de curvas de indiferencia   | 15  |
| Figura 3.1 Funcionamiento del sector eléctrico en la actualidad   | 40  |
| Figura 3.2 Comparación del sector hidrocarburos actual y con reforma  | 46  |
| Figura 3.3 Reducción de pérdidas (técnicas y no técnicas)   | 51  |
| Figura 5.1 Raíz inversa del polinomio autorregresivo del VAR  | 60  |
| Figura 5.2 Consumo residencial de energía eléctrica en el Estado de México y vector de cointegración normalizado    | 69  |
| Figura 5.3 Consumo residencial de energía eléctrica en el Estado de México y modelo vector de corrección de errores | 71  |
| Figura B.1 Graficas de las series de tiempo en logaritmos naturales   | 84  |
| Figura B.2 Correlograma de la serie consumo residencial de electricidad en logaritmo natural $Q_t$                  | 85  |
| Figura B.3 Correlograma de la serie ingreso (PIB per cápita) en logaritmo natural $Y_t$                             | 86  |
| Figura B.4 Correlograma de la serie precio medio real de la electricidad en logaritmo natural $P_{et}$              | 86  |
| Figura B.5 Correlograma de la serie precio medio real del servicio agua en logaritmo natural $P_{at}$               | 87  |
| Figura B.6 Correlograma de la serie precio medio real del gas L.P en logaritmo natural $P_{gt}$                     | 87  |
| Figura B.7 Correlograma de la serie número de usuarios del servicio en logaritmo natural $U_t$                      | 88  |
| Figura E.1 Correlograma cruzado de los residuos estimados del VAR   | 100 |

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad la energía eléctrica cobra relevancia ya que es el energético más utilizado en el mundo, debido a la docilidad en su control, la fácil y limpia transformación de energía en trabajo, y su rápido y eficaz transporte. Por tanto la electricidad se ha convertido en uno de los pilares del desarrollo industrial de todos los países, parte importante del desarrollo social y elemento esencial para el desarrollo tecnológico [Prospectiva del Sector Eléctrico\(2013\)](#).

Por su parte la generación de electricidad a nivel mundial ha guardado una dependencia histórica con el uso de combustibles fósiles, de tal manera que en muchos países este tipo de combustibles representan poco más del 50% de su fuente primaria de generación, este uso intensivo ha provocado en su mayoría los efectos adversos del cambio climático a nivel mundial, contribuyendo con el 60% de las emisiones de gases efecto invernadero [Prospectiva del Sector Eléctrico \(2013\)](#).

La creación de nuevas y necesarias políticas internacionales para frenar los efectos adversos del cambio climático abre una oportunidad para México de mejorar sus condiciones económicas y ambientales e incrementar su relevancia en la escena internacional.

En relación a lo anterior, la nueva reforma constitucional en materia energética realizada en el año 2013, tiene como finalidad alcanzar el acceso incluyente a la energía el cual permitirá imprimir dinamismo y competitividad en la economía, a fin de consolidar un modelo de desarrollo generador de progreso sustentable para su población [Reforma Energética \(2013\)](#).

Para alcanzar los beneficios de una transformación del sector energético, es necesario establecer el acceso universal a la energía eléctrica como una prioridad fundamental. En la actualidad diversos países han introducido cambios estructurales que fomentan la competencia en la generación, transmisión y sectores de distribución de su industria eléctrica, esto incluye la fijación de precios, la inversión y la calidad del servicio [Neeland & Student \(2009\)](#).

De acuerdo a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cobertura actual en México es de 98%, no obstante ha aumentado la inconformidad de la población debido a los altos costos de

la energía eléctrica. Esta situación se da en un contexto en el que las finanzas de la comisión se han tornado endeble, en el año 2012 la empresa presentó un déficit de 77 mil millones de pesos, una parte de éste se subsanó con la exención del pago del aprovechamiento por el uso de patrimonio del Estado y para la parte restante la CFE tuvo que absorber 33.4 mil millones de pesos mediante decrementos de su patrimonio. Para los primeros meses del año 2013, el patrimonio de la empresa CFE disminuyó en 35 mil millones de pesos, cifra superior a la registrada el año anterior, de seguir con esta tendencia la CFE estima que su patrimonio neto llegaría a ser negativo al cierre del año 2014 [Reforma Energética \(2013\)](#).

Por otra parte, las tarifas de la CFE no son competitivas a nivel internacional, aún con subsidio, son en promedio 25% superiores a las de Estados Unidos de América con diferencias aún mayores en segmentos claves de la industrial y el comercio, estos precios representan un freno a la economía mexicana. Respecto a las tarifas residenciales del país las cuales se encuentran subsidiadas, resultan ser 24% menores al equivalente en Estados Unidos, esto se logra con un alto costo sobre las finanzas públicas: el monto del subsidio asignado de 57 millones de pesos en el primer semestre del año 2013 fue cercano al 0.75% del Producto Interno Bruto en el mismo periodo. No obstante, las tarifas eléctricas representan una proporción importante del gasto que destinan las familias a servicios públicos [Reforma Energética \(2013\)](#).

Como consecuencia de lo anterior, la reforma actual tiene como objetivos en materia de electricidad, reducir los costos de producción y las pérdidas técnicas y no técnicas a fin de disminuir las tarifas eléctricas y prevenir la pérdida de patrimonio y descapitalización de la CFE, así como para diversificar la matriz de generación para hacerla más limpia y flexible. Lo anterior permitirá aprovechar con mayor eficiencia el portafolio de recursos con que cuenta el país al tiempo que facilitará el cumplimiento de los objetivos de mitigación del cambio climático y desarrollo sostenible que México se ha planteado ([Ley General de Cambio Climático](#)), y propiciará la generación de cadenas productivas y nuevos empleos [Reforma Energética \(2013\)](#).

Con el fin de coadyuvar en la realización de los objetivos de la reforma antes señalados, es evidente la necesidad de estudios económicos y técnicos que provean resultados útiles y actuales acerca de la industria eléctrica nacional, así como del comportamiento de la demanda

de energía eléctrica en cualquier nivel de agregación (nacional, estatal, municipal u hogar), principalmente debido a la escasez de análisis de este tipo en el país.

## **1.1 Planteamiento del problema**

Desde un punto de vista económico, puede entenderse que la relevancia del estudio de la demanda de la energía eléctrica en cualquier país, radica en la necesidad de conocer las variables que la determinan a través del tiempo, con la finalidad de que el Estado logre satisfacer e influir en ella de la mejor forma posible, además de mantener el bienestar de la población y el buen funcionamiento de la industria.

En México la demanda agregada de energía eléctrica asciende a 206,129 GWh, ésta se conforma de los sectores industrial, comercial, residencial, servicios y bombeo agrícola. Históricamente el sector que presenta el mayor consumo es el industrial, con 120,473 GWh en el año 2013, lo que representa el 58.4% de la demanda total. De esta proporción el 63.39% correspondieron a la mediana empresa y el 36.6% a la gran industria; es decir 76,378 GWh y 44,095 GWh respectivamente [Prospectiva del Sector Eléctrico\(2013\)](#).

Por su parte el sector residencial, se ha mantenido a través de los años en el segundo lugar como consumidor de energía eléctrica, con 52,369 GWh en el año 2013, representando el 25.4% de la demanda total [Prospectiva del Sector Eléctrico \(2013\)](#). Durante la década 2002 – 2012, el sector residencial tuvo un crecimiento anual de 3.1%, esto debido a la incorporación de nuevos usuarios a la región central del país, así como la regularización y la reducción de pérdidas en esta zona [Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública\(2013\)](#).

Es necesario señalar que si bien el sector industrial tiene una gran participación en la demanda agregada de energía eléctrica, éste sólo representa para el año 2013 alrededor del 0.75% de los 37 millones de usuarios del servicio proveído por la CFE, por su parte el sector residencial constituye el 88.5% de los usuarios [Sistema de Información Energética \(2013\)](#), estas proporciones se muestran en la Tabla 1.1.

La concentración de usuarios que presenta el sector residencial en México, lo convierte en uno de los sectores con mayor sensibilidad a la implementación de nuevas reformas o políticas que generen cambios en uno o varios de los determinantes de su demanda. Es

precisamente en el sector residencial donde existe una escasez de estudios económicos acerca de su demanda de energía eléctrica a nivel nacional y estatal, particularmente en aquellos Estados donde cambios en el precio u otro de sus determinantes tendrían un mayor impacto en el corto o largo plazo dadas sus condiciones socioeconómicas Zamora Maqueda & Viveros Sánchez(2011).

Dentro del sector eléctrico residencial, el Estado de México resulta ser el primer lugar en cuanto al consumo y en cuanto al número de usuarios como se aprecia en la Tabla 1.2

**Tabla 1.1 Porcentajes de usuarios y ventas de electricidad por sector en México, 2013**

| Tipo de usuario | Porcentaje de usuarios | Porcentaje de ventas |
|-----------------|------------------------|----------------------|
| Residencial     | 88.52 %                | 25.41 %              |
| Agrícola        | 0.34 %                 | 4.99 %               |
| Industrial      | 0.76 %                 | 58.45 %              |
| Comercial       | 9.87 %                 | 6.67 %               |
| Servicios       | 0.51 %                 | 4.49 %               |

Fuente: Diseño propio con datos del Sistema de Información Energética (SIE, 2013)

**Tabla 1.2 Principales Estados consumidores de energía eléctrica en el sector residencial**

| Estado           | Precio medio de la electricidad / <sup>1</sup> | Consumo / <sup>2</sup> | Número de usuarios / <sup>3</sup> |
|------------------|--|------------------------|-----------------------------------|
| Edo. de México   | 132.820  | 4432.309               | 3616.997122                       |
| Nuevo León       | 132.820  | 4224.859               | 1508.583478                       |
| Distrito Federal | 132.820  | 3634.928               | 2606.758379                       |
| Jalisco          | 132.820  | 3061.551               | 2331.934646                       |

/<sup>1</sup> ¢/kWh, /<sup>2</sup> GWh, /<sup>3</sup> Miles de usuarios

Fuente: Diseño propio con datos del Sistema de Información Energética (SIE, 2013)

Respecto a las condiciones socioeconómicas del Estado de México, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) señala que esta entidad registró en el periodo 2010 – 2012 el mayor aumento de pobreza con un 9.2%, esto significó pasar de

6.712 a 7.328 millones de personas con problemas de pobreza, seguido por los Estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca [CONEVAL\(2013\)](#).

## **1.2 Pregunta de investigación**

En base a los puntos anteriormente expuestos y de la coyuntura de una nueva reforma energética en el país que pretende entre otras cosas disminuir el precio medio de la electricidad en todos sus sectores, se deduce la necesidad de realizar un estudio de tipo económico en particular en el Estado de México, el cual estime un modelo de demanda residencial de energía eléctrica y determine sus correspondientes elasticidades de corto y largo plazo, con el fin de conocer con sustentos estadísticos los posibles efectos a través del tiempo en la demanda misma de variaciones en el precio, el ingreso, la población y otros bienes relacionados como el agua y el gas L.P, por consiguiente la pregunta de investigación a contestar en este estudio es la siguiente:

**¿Qué tipo de efecto puede tener una disminución del precio medio de la energía eléctrica sobre su consumo en el sector residencial del Estado de México y que implicaciones económicas tendría para la población?**

En relación a la pregunta planteada, cabe señalar que existen estudios previos acerca de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial para algunos Estados del país, sin embargo, la mayoría de estos no son vigentes y sus metodologías están basadas en técnicas econométricas tradicionales. Por su parte el presente estudio pretende brindar un antecedente que considere el comportamiento y el equilibrio que guardan a través del tiempo los distintos determinantes de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial, esto con el fin de estimar la magnitud de los efectos que pueden tener en el futuro políticas enfocadas a desarrollar un proceso más eficiente de la generación y consumo de esta energía en los distintos sectores del país.

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **General**

- Modelar una función de demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México, para conocer su comportamiento ante cambios en los factores que la explican.

#### **Particulares**

1. Determinar la existencia de relaciones de cointegración entre las variables; consumo eléctrico, ingreso, precios medios de la energía eléctrica, gas L.P, agua y del número de usuarios del servicio.
2. Estimar las elasticidades ingreso, precio y cruzadas de corto y largo plazo de la demanda de energía eléctrica.
3. Describir los posibles efectos sociales en el Estado de México ante una disminución en el precio medio de la energía eléctrica.

### **1.4 Hipótesis**

#### **General**

- La demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México no es sensible a cambios de pequeña magnitud en su precio medio.

#### **Particulares**

1. Dentro del conjunto de series de tiempo propuesto para modelar la función de demandaresidencial de energía eléctrica, existe al menos una relación de cointegración consistente con la teoría del consumidor.

2. La elasticidad precio de la demanda residencial de electricidad es inelástica en el corto y largo plazo debido a que es un bien de primera necesidad.
3. La elasticidad ingreso de la demanda residencial de electricidad es un bien normal en el corto y largo plazo.
4. Las elasticidades cruzadas de la demanda residencial de electricidad en cuanto al precio del gas L.P y del agua, son bienes sustitutos y complementarios respectivamente en el corto y largo plazo.

# CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

---

## 2.1 Revisión de literatura

La demanda de energía eléctrica en el sector residencial ha sido analizada desde un punto de vista económico por una gran cantidad de autores en distintos países y en menor medida en México, por lo tanto a continuación se describen brevemente las investigaciones que tienen mayor utilidad para el desarrollo del presente estudio.

[Morales et al.\(2012\)](#) realizaron el estudio “Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México”, con el objetivo de estimar los diferentes efectos que tienen sobre el consumo residencial variables como el ingreso (índice nacional de la actividad económica como variable proxy), el precio real de la electricidad en el sector residencial, el precio real del gas L.P, el número de hogares y los efectos estacionales (climatológicos) para entender la dinámica de crecimiento del sector y predecir cambios en el futuro. Para esto, el autor utilizó series de tiempo de 1993 a 2010 en frecuencia mensual y mediante el uso de la técnica de cointegración de Engel – Granger estimó las elasticidades precio e ingreso de corto y largo plazo de una función de demanda estilo Cobb – Douglas. Los resultados indican una elasticidad ingreso estimada para el corto plazo de -0.276 y para el largo plazo de 0.887, lo que indica que un incremento en el ingreso, incrementara el consumo en la zona de estudio en el largo plazo, en tanto que en el corto plazo no se generarían cambios significativos sobre el consumo. Por su parte la elasticidad precio estimada para el corto plazo es de -0.165 y para el largo plazo es de -0.630, por tanto la demanda de energía no es sensible a cambios en el precio, y se puede decir que las políticas públicas en las que se estimule un aumento del precio (eliminación del subsidios) no tendrán un impacto o una reducción drástica en el consumo del servicio domiciliario.

[Guzmán et al.\(2011\)](#), estimaron las elasticidades de las variables que afectan en mayor medida el consumo de energía eléctrica para uso doméstico en San Juan del Rio, Querétaro, dado el incremento anual en el consumo derivado del crecimiento de la población de este municipio y por ser un servicio necesario en todos los hogares tanto urbanos como rurales. Utilizaron series de tiempo mensuales del periodo enero de 2003 a mayo del 2010 de las variables precio al consumidor real de la energía en el municipio con un mes de rezago, el ingreso per cápita real del consumidor del servicio (promedio del ingreso mensual en el

municipio como variable proxy) y la cantidad de energía demandada rezagada un mes, se estimó un modelo econométrico que considera que la energía eléctrica consumida en los hogares está en conexión con diferentes tareas o consumo de bienes finales y está sustentado teóricamente en el modelo de rezagos distribuidos y autorregresivo de Nerlove y el modelo de ajuste de existencias o ajuste parcial. La elasticidad precio obtenida en el corto plazo resultó ser de -0.6943 y la de largo plazo de -2.2616, lo que corresponde a un servicio inelástico y elástico respectivamente. Por su parte las elasticidades ingreso de la demanda en el corto y largo plazo fueron de 0.4320 (servicio normal y necesario) y 1.4073 (servicio normal de lujo) respectivamente. Con base en el comportamiento mostrado por el crecimiento en el consumo del servicio, no se visualiza una reducción ya que se requerirá contar con la infraestructura necesaria para atender el consumo promedio mensual de 5.6 millones de kW de los últimos cinco años más su incremento, por lo que se requiere fomentar el uso eficiente de la electricidad (utilizar lámparas de bajo consumo de energía, adquirir electrodomésticos que utilicen menos electricidad, etc.) no sólo en este municipio sino a nivel nacional.

Castro (2000), realizó el estudio “La demanda de electricidad de largo plazo: principales determinantes en un marco regulado y repercusiones del proceso de liberalización”, el objetivo de este estudio fue estimar un modelo de demanda de electricidad de largo plazo para el sector residencial español, debido a las repercusiones que sobre dicha demanda pudo tener el proceso liberalizador del sector eléctrico español. Para esto, el autor utilizó la metodología multivariante de cointegración, con la aplicación del procedimiento de Johansen para estimación e inferencia de sistemas cointegrados, esto debido a la no estacionariedad de las series de tiempo y del interés de encontrar relaciones de largo plazo entre éstas y distinguirlas de la dinámica de corto plazo. El análisis se realizó con datos anuales del periodo 1959 -1988 de las variables consumo de electricidad per cápita, ingreso (PIB per cápita como variable proxy), precio medio de la electricidad; como bienes sustitutos se utilizaron el precio medio del gasóleo y el del butano, adicionalmente se utilizó como variable exógena la temperatura dada su influencia sobre el consumo residencial de electricidad. Los resultados indicaron una relación de largo plazo entre las variables del modelo de demanda, con una elasticidad precio de - 1.75 y de ingreso de 2.31; por otra parte, se verifica la inercia del consumo de electricidad sobre la dinámica del corto plazo la cual es completamente dependiente del equipo instalado.

Es importante señalar que las elasticidades ingreso y precio reportadas en los estudios consultados difieren entre sí, de acuerdo al meta-análisis realizado por [Espey & Espey\(2004\)](#) esto se debe principalmente a diferencias en las condiciones socioeconómicas de las áreas o países donde se realizaron dichos estudios, así como del tipo de información y técnica econométrica utilizada en las estimaciones. Por otra parte los resultados de este tipo de elasticidades son consistentes con la teoría económica, lo cual les otorga sustento y validez.

Algunas otras investigaciones relacionadas se presentan en la Tabla 2.1 junto con detalles de la técnica de estimación utilizada y los resultados obtenidos, mismas que serán utilizadas para la discusión de los resultados obtenidos en este estudio.

**Tabla 2.1 Estudios sobre elasticidades de la demanda de energía eléctrica en México y otros países**

| N°  | Autor                  | País                 | Periodo de análisis/Frecuencia | Técnica de estimación                   | Corto plazo         |                    | Largo Plazo         |                    |
|---|------------------------|----------------------|--------------------------------|---|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|   |                        |                      |                                |   | Elasticidad Ingreso | Elasticidad Precio | Elasticidad Ingreso | Elasticidad Precio |
| 1   | Morales (2012)         | México/ Monterrey    | (1993 - 2010)/ Mensual         | Cointegración de Engel – Granger        | -0.276              | -0.165             | 0.887               | -0.63              |
| 2   | Guzmán (2011)          | México/Querétaro     | (2003 - 2010)/ Mensual         | Mínimos Cuadrados Ordinarios            | 0.432               | -0.6943            | 1.4073              | -2.2616            |
| 3   | Berglind(2004),        | México               | (1993 - 2002)/ Anual           | Mínimos Cuadrados Ordinarios            |                     |                    | 0.553               | -0.018             |
| 4   | Caballero (2009)       | México               | (1965 - 2004)/ Anual           | Cointegración de Johansen               |                     |                    | 0.60                | -0.19              |
| 5   | Silk and Joutz, (1997) | Estados Unidos       | (1949 - 1993)/ Anual           | Cointegración de Johansen               | 0.38                | -0.63              | 0.52                | -0.48              |
| 6   | Dergiades (2008)       | Estados Unidos       | (1965 - 2006)/ Anual           | Cointegración de Johansen               | 0.27                | -1.06              | 0.10                | -0.38              |
| 7   | Leiva(2009)            | Costa Rica/ San José | (1976 - 2007)/ Mensual         | Modelos Autorregresivos                 | 0.239               | -0.083             | 0.97                | -0.336             |
| 8   | Espinoza (2013)        | Colombia             | (2000 - 2011)/ Mensual         | MCO, VARX y un VARX bayesiano           | 0.002               | -0.66              | 0.008               | -1.97              |
| 9   | Benavente (2005)       | Chile                | (1995 - 2001)/ Mensual         | MCO, Montecarlo                         |                     | -0.0548            |                     | -0.39              |
| 10  | Del Rosal (1999)       | España               | (1991 - 1995)/ Trimestral      | Cointegración Engel – Granger, Johansen |                     |                    | 0.81                | -0.7               |
| 11  | Fernandez(2006)        | España               | (1999)/ Mensual                | Métodos no paramétricos                 |                     | -0.51              |                     |                    |
| 12  | Castro (2000)          | España               | (1959- 1988)/ Anual            | Cointegración de Johansen               |                     |                    | 2.31                | -1.75              |
|   |                        |                      |                                |   | Corto plazo         |                    | Largo Plazo         |                    |
|   |                        |                      |                                |   | Elasticidad Ingreso | Elasticidad Precio | Elasticidad Ingreso | Elasticidad Precio |
| <b>Intervalos de magnitudes de elasticidades precio e ingreso de la demanda</b> |                        |                      |                                | <b>Valor Mínimo</b>                     | -0.276              | -1.06              | 0.008               | -2.2616            |
|   |                        |                      |                                | <b>Valor Máximo</b>                     | 0.432               | -0.0548            | 2.31                | -0.018             |

Fuente: Diseño propio con datos de la bibliografía consultada

## 2.2 Formas funcionales de la demanda de energía eléctrica

De acuerdo con el meta-análisis realizado por [Espey & Espey \(2004\)](#), en la literatura sobre este tema existe un conjunto muy variado de formas funcionales para aproximarse a la función de demanda de energía eléctrica a nivel residencial, sin embargo estas pueden clasificarse en dos grupos:

- **Relación funcional lineal**

La función de demanda lineal está basada en el supuesto de que la pendiente de la relación entre las variables (dependientes e independientes) es constante. Los estudios realizados por [Galindo & Sánchez \(2005\)](#) y [García Salazar & Mora Flores \(2008\)](#) para analizar la función demanda residencial de energía eléctrica y de agua respectivamente suponen este tipo de forma funcional.

El modelo lineal es de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

- **Relación Funcional exponencial**

La forma funcional más común que no es lineal en las variables (pero que aún es lineal en los coeficientes) es la función exponencial. Se especifica cuando el investigador tiene la firme convicción de que las pendientes son variables y las elasticidades constantes. Los estudios realizados por [Pinaya \*et al.\* \(2012\)](#), [Donnelly & Diesendorf \(1985\)](#) y [Paresh Kumar \*et al.\* \(2007\)](#) utilizaron este tipo de forma funcional para aproximarse a la función de demanda de energía eléctrica residencial.

El modelo exponencial es de la forma:

$$Y = \beta_0 \beta_1^{X_1} \beta_2^{X_2} \beta_3^{X_3}$$

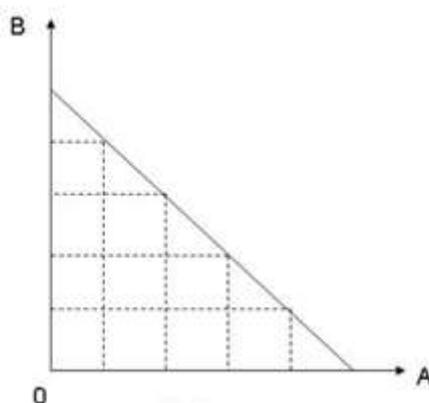
En el capítulo 4, se presenta un modelo de demanda de energía eléctrica residencial basado en una relación funcional exponencial.

### 2.3 La teoría del consumidor

En el campo de la economía, la teoría del consumidor se encarga de estudiar la forma en que los individuos toman sus decisiones de compra de bienes y servicios (alimentación, salud, vivienda, vestido, etc.), con el principal objetivo de generar un nivel de satisfacción o utilidad, pero debido a que los individuos tienen un presupuesto limitado, este nivel de utilidad depende en gran medida de los ingresos que éste disponga [Varian \(2010\)](#).

Para ejemplificar en términos simples lo anterior, en la Figura 2.1 se representa un conjunto de combinaciones posibles de dos bienes A y B, los cuales son consumidos por un individuo que está sujeto a una restricción presupuestaria.

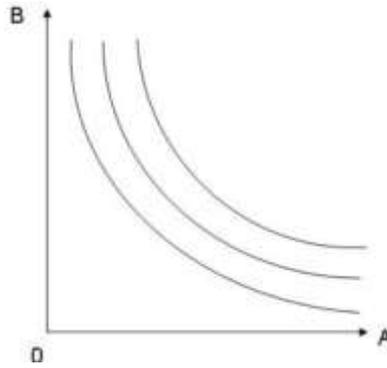
**Figura 2.1 Restricción presupuestaria**



Fuente: Varian (2010)

La pendiente de la curva de restricción presupuestaria nos indica el costo de oportunidad entre A y B, es decir, a qué cantidad de A se debe renunciar para obtener una unidad adicional de B. Por su parte las preferencias del consumidor pueden representarse gráficamente mediante curvas de indiferencia, ver Figura 2.2, y éstas muestran diferentes combinaciones de A y B que representan un mismo nivel de utilidad.

**Figura 2.2 Mapa de curvas de indiferencia**



Fuente: Varian (2010)

Para que una curva de indiferencia represente preferencias coherentes, deben cumplirse las siguientes propiedades:

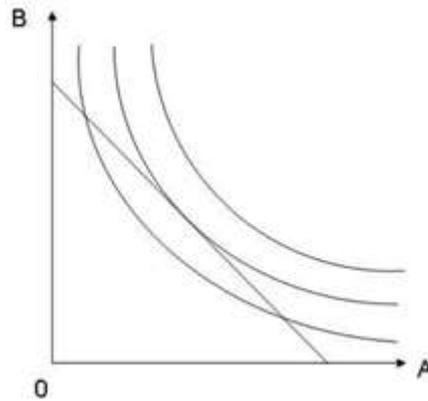
1. Las curvas de indiferencia más altas representan un mayor nivel de utilidad.
2. Las curvas de indiferencia no se pueden cortar.
3. Las curvas de indiferencia tienen pendiente negativa, y ésta indica la relación a la que un consumidor estaría dispuesto a intercambiar un bien por otro y se conoce como Tasa Marginal de Sustitución (TMS).
4. Las curvas de indiferencia son convexas.

Existen además ciertos casos extremos de preferencias:

1. Sustitutos perfectos: Cuando las curvas de indiferencia son líneas rectas.
2. Complementarios perfectos: Cuando las curvas de indiferencia tienen forma de "L".

Si agrupamos la restricción presupuestaria y las curvas de indiferencia en un solo análisis, encontraremos la elección óptima del consumidor, ver Figura 2.3, es decir, donde éste alcanzará su máximo nivel de utilidad, y gráficamente es el punto de tangencia entre las dos curvas.

**Figura 2.3 Mapa de curvas de indiferencia**



Fuente: Varian (2010)

Al haber cambios en el ingreso del consumidor se desplaza la restricción presupuestaria y se pueden identificar dos tipos de bienes dependiendo del valor óptimo:

1. Si un aumento en el ingreso incrementa la demanda, se trata de un bien normal.
2. Si la demanda disminuye al aumentar el ingreso, es un bien inferior.

Cuando se presenta una variación en el precio de alguno de los dos bienes, pueden presentarse dos efectos:

1. Cuando el consumidor se traslada de una curva de indiferencia mayor o menor, se conoce como efecto ingreso.
2. Cuando el consumidor se traslada a lo largo de una curva de indiferencia dada a un punto que tiene una nueva TMS, se conoce como efecto sustitución.

A través de los cambios en los precios podemos obtener fácilmente la curva de demanda de un bien, la cual relaciona el precio con la cantidad comprada.

## **2.4 Factores determinantes de la demanda**

Esta sección y la siguiente referente a las elasticidades de la demanda, se desarrolla con base en los autores [García \(2003\)](#), [Gaudencio & Raúl \(1999\)](#). En términos generales los principales determinantes de la demanda de un producto o servicio ( $Dx$ ) en el periodo de tiempo ( $t$ ) son los siguientes:

1. El precio del producto ( $P_x$ ).
2. El ingreso disponible y su distribución ( $I$ ).
3. Los precios y la disponibilidad de otros productos sustitutos ( $P_s$ ) y complementarios ( $P_c$ ).
4. El tamaño de la población ( $N$ ).
5. Los gustos y preferencias de los consumidores ( $G$ ).
6. Expectativas de precios e ingresos de los consumidores ( $E$ ).

Estos factores determinantes de la demanda se expresan en la siguiente función:

$$D_x = F(P_x, P_s, P_c, I, N, G, E)$$

#### **2.4.1 Precio**

El precio es el causante de provocar cambios en la cantidad demandada mientras los demás factores permanecen constantes. Los otros factores determinan la posición de dicha curva y son factores de cambio de la demanda, dando lugar así a aspectos estáticos y dinámicos, por otra parte además del precio de un bien o servicio, la cantidad demandada depende de otros factores.

#### **2.4.2 Ingreso**

Para la mayoría de los bienes y servicios se cumple que si disminuye el ingreso también disminuirá la cantidad demandada, estos bienes son denominados bienes normales. Por otra parte si la demanda de un bien disminuye cuando aumenta el ingreso, éste se denomina un bien inferior.

#### **2.4.3 Bienes complementarios y sustitutos**

Se denominan bienes complementarios a aquellos que tienden a consumirse juntos. Se caracterizan porque la disminución del precio de un bien provoca un incremento en su demanda y además un aumento de la demanda de su bien complementario.

Se denominan bienes sustitutos a aquellos que cumplen una función similar o idéntica, y que por tanto pueden ser sustituidos entre sí obteniendo resultados similares. Este tipo de bienes se identifican cuando el aumento de un bien o servicio incrementa a su vez la demanda de su bien sustituto.

#### **2.4.4 Población**

La población constituyen los mercados, y su análisis es importante. La forma más común de segmentar mercados es el uso de categorías demográficas tales como edad, sexo, ciclo de vida, educación, ocupación, clase social etc. Por lo tanto, el número de habitantes, la tasa de crecimiento poblacional, la distribución geográfica son aspectos que influyen en la demanda de productos y servicios.

#### **2.4.5 Gustos y preferencias de los consumidores**

El determinante más evidente de la demanda son los gustos o preferencias. Los economistas normalmente no tratan de explicar los gustos de los consumidores porque se basan en fuerzas históricas y psicológicas que están fuera del campo de la economía y de una medición cuantitativa práctica, sin embargo, sí examinan lo que ocurre cuando cambian los gustos.

#### **2.4.6 Expectativas de precios e ingresos de los consumidores**

Las expectativas sobre el futuro pueden influir en la demanda actual de un bien o servicio. Por ejemplo, si se espera un ingreso mayor en un próximo periodo de tiempo, es posible que se esté más dispuesto a gastar una parte del ahorro actual en la compra de bienes o servicios adicionales.

### **2.5 Elasticidades de la demanda**

Dado los diversos factores determinantes de la demanda se hace necesario saber en qué magnitud aumenta o disminuye la cantidad demandada cuando alguno de los factores varía y los demás se mantienen constantes. A esta magnitud de cambio se le conoce en microeconomía como coeficiente elasticidad.

El concepto de elasticidad permite medir el cambio porcentual en una variable dependiente en correspondencia con un cambio porcentual en alguna variable independiente, permaneciendo las demás constantes. El coeficiente de elasticidad posee la ventaja de ser un número sin dimensiones es decir independiente de la unidad de medida, por tanto puede compararse entre distintos tipos de bienes. Los conceptos de elasticidad en relación a los principales factores determinantes de la demanda se describen a continuación.

### 2.5.1 Elasticidad precio propia de la demanda

La elasticidad precio mide la variación relativa o porcentual que experimenta la cantidad demandada como consecuencia de una variación en el precio de 1%, en otras palabras, mide la intensidad con la que responden los compradores a una variación en el precio. La definición matemática es:

$$\varepsilon_{x_0}^d = \left( \frac{dX}{dP_x} \right) \left( \frac{P_x}{X} \right)$$

dónde:  $X$  es la cantidad demandada del bien o servicio

$P_x$  es el precio del bien o servicio

Las curvas de demanda se pueden clasificar en cinco categorías, según el valor absoluto de la elasticidad: totalmente elástica, totalmente inelástica, unitaria, elástica e inelástica:

1. Si la elasticidad es igual a infinito en todos sus puntos, la curva de demanda es totalmente elástica. Hay variaciones porcentuales en la cantidad demandada sin que haya ninguna variación porcentual en el precio.

$$\varepsilon_{x_0}^d = \infty$$

2. Si la elasticidad es igual a cero en todos sus puntos, la curva de demanda es totalmente inelástica. No hay variación porcentual en la cantidad demandada ante variaciones porcentuales en el precio.

$$\varepsilon_{x_0}^d = 0$$

3. Si la elasticidad es igual a -1, la curva de demanda es unitaria o normal. La variación porcentual en la cantidad demandada es igual que la variación porcentual en el precio.

$$\varepsilon_{x_0}^d = -1$$

4. Si la elasticidad es menor que -1, pero mayor que infinito, la curva de demanda es elástica. La variación porcentual en la cantidad demandada es mayor que la variación porcentual en el precio.

$$\infty < \varepsilon_{x_0}^d < -1$$

5. Si la elasticidad es mayor que -1, pero menor que cero, la curva de demanda es inelástica. La variación porcentual en la cantidad demandada es menor que la variación porcentual en el precio.

$$-1 < \varepsilon_{x_0}^d < 0$$

### 2.5.2 Elasticidad ingreso de la demanda

El coeficiente de la elasticidad ingreso, representa el cambio porcentual en la cantidad demandada ante un cambio porcentual en el ingreso de la población que consume el bien.

$$\eta_x = \left( \frac{dX}{dI} \right) \left( \frac{I}{X} \right)$$

dónde:  $X$  es la cantidad demandada del bien o servicio

$I$  es el ingreso de la población

De acuerdo a su valor los bienes se clasifican en: normales, de lujo e inferiores

1. **Bienes normales:** El coeficiente de elasticidad ingreso es positivo y menor que 1. Es decir, cuando los ingresos del consumidor aumentan, la demanda crece en una proporción menor.

Si:  $0 < \eta_x < 1$  es un bien normal

- 2. Bienes de lujo:** El coeficiente de elasticidad ingreso es mayor que 1. Es decir, cuando los ingresos del consumidor aumentan, la demanda crece en una proporción mayor.

Si:  $\eta_x > 1$  es un bien de lujo

- 3. Bienes inferiores:** El coeficiente de elasticidad ingreso es negativo. Por tanto, cuando los ingresos del consumidor aumentan, la demanda de estos bienes disminuye porque el consumidor puede optar por otros productos de mayor calidad.

Si:  $\eta_x < 0$  es un bien inferior

### 2.5.3 Elasticidad cruzada de la demanda

La sensibilidad de la cantidad demandada de un bien particular a los precios de sus sustitutos y complementarios se mide usando la elasticidad cruzada de la demanda y representa el cambio porcentual de la cantidad demandada de un bien "x" ante el cambio porcentual del precio del otro bien "y". La definición matemática es:

$$S_{xy} = \left( \frac{dX}{dP_y} \right) \left( \frac{P_y}{X} \right)$$

Si:  $S_{xy} > 0$  Son bienes sustitutos

Si:  $S_{xy} < 0$  Son bienes complementarios

### 2.6 Cointegración de series de tiempo económicas

Desde el enfoque de la economía, se dice que si dos o más series de tiempo están cointegradas presentaran un movimiento conjunto a lo largo del tiempo y las diferencias entre ellas son estables (es decir estacionarias), aun cuando cada serie en particular contenga una tendencia estocástica y sea por lo tanto no estacionaria. De aquí que la cointegración refleja la presencia de un equilibrio a largo plazo hacia el cual converge el sistema económico a lo

largo del tiempo. Las diferencias (o término error) en la ecuación de cointegración se interpretan como el error de desequilibrio para cada punto particular de tiempo [Mata\(2004\)](#).

Desde el enfoque de la econometría, dos o más series de tiempo que son no estacionarias de orden I (1) están cointegradas si existe una combinación lineal entre éstas que sea estacionaria o de orden I(0). El vector de coeficientes que crean esta serie estacionaria es el vector cointegrante [Mata\(2004\)](#).

De acuerdo a [Johansen \(1988\)](#), la mayor parte de las series temporales particularmente en economía, son no estacionarias y las técnicas convencionales de regresión basadas en datos no estacionarios tienden a producir resultados espurios, no obstante las series no estacionarias pueden estar cointegradas si alguna combinación lineal de las series llega a ser estacionaria. Es decir, la serie puede deambular, pero en el largo plazo hay fuerzas económicas que tienden a empujarlas a un equilibrio. Por lo tanto, las series cointegradas no se separarán significativamente unas de otras debido a que ellas están enlazadas en el largo plazo.

Para probar cointegración entre series de tiempo, los procedimientos más utilizados son los siguientes:

### **1. Engel-Granger (1987)**

- Aplicable a modelos uniecuacionales (máximo 2 variables)
- Método en dos etapas basado en los residuos estimados
- Asume a priori que existe un solo vector de cointegración en el modelo
- El resultado de este método de cointegración puede cambiar dependiendo de cuál variable se seleccione como dependiente

### **2. Johansen, S. (1988)**

- Aplicable a sistemas de ecuaciones (dos o más variables)
- Este método está basado en modelos VAR (Vectores autorregresivos)

- Es un test de máxima verosimilitud que requiere grandes volúmenes de datos (100 o más)
- Prueba la existencia de múltiples vectores de cointegración entre las variables, mediante la prueba de la Traza y del Eigenvalor máximo
- Descansa fuertemente en la relación entre el rango de la matriz y sus raíces características

En el siguiente apartado se describirá a detalle el procedimiento de cointegración de Johansen, debido a su utilidad para desarrollar el presente estudio.

## **2.7 Enfoque de cointegración de Soren Johansen**

El enfoque de cointegración multivariado de [Johansen \(1988\)](#), se ha convertido en un método muy popular para probar la existencia de cointegración en variables integradas de orden uno e integradas de orden cero, escribiéndose como  $I(1)$  y  $I(0)$  respectivamente. En el procedimiento de S. Johansen, es necesario analizar las series previamente con el fin de conocer si presentan o no raíces unitarias, las series que presenten raíces unitarias se colocan en un vector autorregresivo a partir del cual se puede probar la existencia de una o más combinaciones lineales  $J(U)$  o vectores de cointegración, como también se les denomina. Este procedimiento se describe a detalle en las siguientes subsecciones.

### **2.7.1 Orden de integración de las series de tiempo**

Existen diversas pruebas para identificar no estacionariedad en las series de tiempo, estas se agrupan en pruebas informales y formales. A continuación se describen las más comúnmente utilizadas.

### **2.7.1.1 Pruebas informales**

#### **Representación gráfica de las series**

Uno de los métodos que suelen proponerse como ayuda en la detección de la no estacionariedad de una serie de tiempo es el del análisis de representaciones gráficas de la misma. Así, se dice que la simple contemplación del gráfico de evolución temporal de la serie permite decidir si la serie es o no estacionaria en virtud, por ejemplo, de la pendiente que presente. Por otro lado, suelen aconsejarse medidas como el gráfico rango - media para detectar la no estacionariedad en varianza; ambos procedimientos sólo son parcialmente útiles. Efectivamente pueden confundirse con facilidad representaciones gráficas de procesos con tendencias estocásticas con procesos con tendencias deterministas.

#### **Correlograma de una serie de tiempo**

El correlograma de una serie de tiempo se utiliza como un método para determinar si una serie es o no es estacionaria, éste consiste en representar los valores de la función de autocorrelación muestral (ACF, por sus siglas en inglés) con respecto a la longitud del retardo. En general existen dos reglas para su interpretación:

- Si el correlograma comienza con un valor muy alto y decae muy lentamente hacia cero: Es una serie no estacionaria.
- Si el correlograma decae muy rápidamente hacia cero después del primer retardo: Es una serie estacionaria.

## Prueba de BP o Q de Box-Pierce/Estadístico LB o Q de Ljung-Box

Para probar la estacionariedad de una serie de tiempo, puede usarse tanto la prueba de Box-Pierce como la de Ljung-Box; en ambos casos el estadístico se distribuye como  $\chi^2_m$  Gujarati & Porter(2010). La prueba se describe a continuación:

---

### Planteamiento de hipótesis

---

$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$  *Serie ruido blanco = Estacionaria*

$H_1: \rho_1 = \rho_2 \neq \dots \neq \rho_k \neq 0$  *Serie caminata aleatoria = No estacionaria*

donde:  $\rho_i$  es la autocorrelación de retraso (lag)  $i$ , y  $k$  es el número total de retardos utilizados y el número de retardos recomendados es una cuarta parte del total de las observaciones.

---

### Estadísticos

---

Box-Pierce (BP)

$$Q = n \sum_{k=1}^m \hat{\rho}_k^2$$

Ljung-Box (LB)

$$LB = n(n+2) \sum_{k=1}^m \left( \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \right) \cong \chi_m^2$$

donde:

$$\hat{\rho}_j = \frac{\sum_{t=j+1}^n e_t e_{t-1}}{\sum_{t=1}^n e_{t-1}^2}$$

---

### Regla de decisión:

---

Rechace  $H_0$  si el valor de probabilidad  $\leq 0.05$

No rechace  $H_0$  si el valor de la probabilidad  $> 0.05$

---

### 2.7.1.2 Pruebas Formales

#### Pruebas de Dickey-Fuller (DF) y Dickey – Fuller Aumentada (ADF)

Antes de someter los datos a procesamiento electrónico se debe investigar si las series son o no estacionarias, ya que los resultados de análisis de regresión a partir de series no estacionarias no tienen significado alguno, es el denominado problema de regresión espuria.

El planteamiento más sencillo de Dickey – Fuller, consiste en plantear el modelo autorregresivo de orden 1, AR (1).

$$Y_t = \alpha + \rho Y_{t-1} + e_t$$

donde:  $\alpha$  y  $\rho$  son parámetros a estimar y  $e_t$  es un error aleatorio o ruido blanco,  $\rho$  es un coeficiente de autocorrelación y por tanto toma valores entre -1 y 1, ( $-1 < \rho < 1$ ).

Si  $\rho = 1$ , la serie es no estacionaria. Si  $\rho$  es mayor que 1 la serie es explosiva, lo cual no tiene sentido en estudios económicos, por ello, las hipótesis involucradas en esta prueba son:

$H_0: \rho = 1$  La serie es no estacionaria: Tiene una raíz unitaria

$H_1: \rho < 1$  La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria

Otra forma de plantear el problema es utilizar alguna de las siguientes ecuaciones para determinar la presencia o no de raíces unitarias.

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + e_t$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \delta Y_{t-1} + e_t$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta T + \delta Y_{t-1} + e_t$$

La diferencia entre estas tres regresiones involucra la presencia de componentes determinísticos: Intercepto (drift) y tendencia (T). La primera es un modelo puramente aleatorio. La segunda añade un intercepto o término a la deriva “drift” y la tercera incluye

intercepto y un término de tendencia. El parámetro de interés en las 3 regresiones es  $\delta$ , donde  $\delta = \rho - 1$ . La prueba se describe a continuación:

---

### Planteamiento de hipótesis

---

**$H_0: \delta = 0$  La serie es no estacionaria: Tiene una raíz unitaria**

**$H_1: \delta < 0$  La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria**

---

### Estadísticos

---

$$t^* = \tau = \frac{\hat{\delta} - 0}{\hat{\sigma}_{\hat{\delta}}}$$

Este estadístico no se distribuye como t-student, por ello se utilizan las tablas generadas por Dickey y Fuller y ampliadas posteriormente por MacKinnon.

---

### Regla de decisión:

---

Rechazar  $H_0$  si:  $|\tau| > |t_{\alpha}|$

No rechazar  $H_0$  si:  $|\tau| < |t_{\alpha}|$

---

Este procedimiento supone un modelo AR(1), si el proceso sigue otro esquema, se podría obtener el no rechazo de la hipótesis debido a una mala especificación, por ello, se debe también utilizar el estadístico Q de Ljung-Box. En estos casos se puede utilizar la prueba de Dickey y Fuller Aumentada (ADF) que se utiliza cuando la prueba de DF no pueda corregir la correlación serial en los residuos. Esta prueba permite considerar otros esquemas de autocorrelación, añadiendo términos de diferencias de la variable, es una extensión de las regresiones utilizadas en la prueba (DF) pero aumentándolas con términos retardados de la variable, el modelo a utilizar es:

$$\Delta Y_t = \alpha + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma^i \Delta Y_{t-i} + e_t$$

donde:  $p$  es el número de retardos a incluir en el modelo.

El propósito de los retardos es asegurar que los residuos sean ruido blanco. Se recomienda empezar con seis retardos e ir disminuyéndolos hasta que el estadístico indique que se ha corregido la autocorrelación en los residuos. La prueba se describe a continuación:

---

**Planteamiento de hipótesis**

---

**$H_0: \delta = 0$  La serie es no estacionaria: Tiene una raíz unitaria**

**$H_1: \delta \neq 0$  La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria**

---

**Estadísticos**

---

$$t^* = \tau = \frac{\hat{\delta} - 0}{\hat{\sigma}_{\hat{\delta}}}$$

---

**Regla de decisión:**

---

Rechace  $H_0$  si  $|t^*| = |\tau| > |t_{\alpha}|$  utilizando los valores críticos de MacKinnon

No rechace  $H_0$  si  $|t^*| = |\tau| > |t_{\alpha}|$  utilizando los valores críticos de MacKinnon

---

## Prueba de Phillips-Perron (PP)

Phillips & Perron (1988) instrumentaron una prueba similar a la de DF, pero que permite relajar los supuestos concernientes a los errores, es una prueba no paramétrica, adicionalmente es también una prueba de raíz unitaria, donde la hipótesis nula afirma que la serie de tiempo es I(1). El modelo es el siguiente:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + e_t$$

La prueba se describe a continuación:

---

### Planteamiento de hipótesis

---

**H<sub>0</sub>:  $\delta = 0$  La serie es no estacionaria: Tiene una raíz unitaria**

**H<sub>1</sub>:  $\delta < 0$  La serie es estacionaria: No tiene raíz unitaria**

---

### Estadísticos

---

$$t^* = \tau = \frac{\hat{\delta} - 0}{\hat{\sigma}_{\hat{\delta}}}$$

La distribución asintótica del estadístico de la prueba es la misma que la del estadístico para la prueba ADF.

---

### Regla de decisión:

---

Rechace H<sub>0</sub> si  $|t^*| = |\tau| > |t_{\alpha}|$  utilizando los valores críticos de MacKinnon

No rechace H<sub>0</sub> si  $|t^*| = |\tau| < |t_{\alpha}|$  utilizando los valores críticos de MacKinnon

---

## 2.7.2 Especificación del modelo Vector Autorregresivo (VAR)

Los modelos de vectores autorregresivos (VARs) fueron introducidos en la economía empírica por Sims (1980). Los modelos VARs se utilizan a menudo para predecir sistemas interrelacionados de series temporales y para analizar el impacto dinámico de las perturbaciones aleatorias sobre el sistema. Permiten predecir varias series de manera conjunta que pueden estar relacionadas entre sí. Un modelo VAR está constituido por un sistema de ecuaciones con tantas ecuaciones como series a analizar o predecir. Es un modelo lineal de “n” variables donde cada variable es explicada por sus propios valores rezagados más el valor pasado del resto de variables.

Un modelo VAR es el punto de partida del enfoque de cointegración de Johansen, siendo su forma general la siguiente:

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \dots + \alpha_\rho Y_{t-\rho} + \beta X_t + \varepsilon_t$$

donde:

---

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $Y_t$                                 | Es un vector (N*1) de variables endógenas integradas de orden uno I(1)   |
| $\alpha_1, \dots, \alpha_\rho, \beta$ | Son matrices de coeficientes a ser estimados   |
| $\rho$                                | Es el número de retardos incluidos en el VAR (se recomienda usar entre 4 o 6 retardos cuando se trabaja con series trimestrales) |
| $X_t$                                 | Es un vector de variables exógenas (constante, variables dummy, estacionales, etc.)  |
| $\varepsilon_t$                       | Es un vector (N*1) de términos de errores normal e independientemente distribuido  |

---

Una vez que se han seleccionado las variables endógenas que conformarán el vector  $Y_t$ , y las variables que conformarán el vector de variables exógenas  $X_t$ , se realizan distintas pruebas estadísticas para determinar el retardo óptimo para el modelo VAR, con la finalidad de obtener residuos que sean ruido blanco.

### 2.7.2.1 Determinación del retardo óptimo del VAR

La longitud del retardo no puede ser ni muy corta ni muy larga, si el retardo es muy corto probablemente no se capture completamente la dinámica del sistema que está siendo modelado. Por otra parte, si es demasiado largo, se corre el riesgo de perder grados de libertad y tener que estimar un número muy grande de parámetros.

Para determinar el retardo óptimo de un modelo VAR se aplica la prueba de longitud de retardo, esta prueba calcula los siguientes criterios: a) criterio de máxima verosimilitud (LR), b) criterio de información de Akaike (AIC), c) criterio de información de Schwarz (SC), d) criterio de información de Hannan Quinn (HQ). De acuerdo a [Mata \(2004\)](#) generalmente se considera que el retardo óptimo de un modelo VAR es aquel que minimiza el criterio de información de Schwarz (SC) o que maximiza el criterio de máxima verosimilitud (LR), a continuación se describen cada uno de estos criterios.

#### a) Criterio de máxima verosimilitud (LR)

[Sims \(1980\)](#) en su artículo original propone la utilización de una proporción de verosimilitud (LR) entre el modelo restringido (el que tiene el menor número de retardos) y el modelo ampliado (el que incluye todos los retardos deseados). Esta proporción viene dada por el estadístico LR:

$$(T - C) \left[ \log \left| \sum y \right| - \log \left| \sum a \right| \right] \approx \chi_R^2$$

donde: T es el número de observaciones, C número de variables del modelo ampliado,  $\Sigma$  es la matriz de productos cruzados de los residuos y R el número total de restricciones.

#### b) Criterio de información de Akaike (AIC)

Para un modelo estadístico el valor AIC es:

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

donde: k es el número de parámetros en el modelo, y L es el valor máximo de la función de verosimilitud del modelo. Dado un conjunto de modelos candidatos, el modelo preferido es el que tiene el valor mínimo del valor AIC.

#### c) Criterio de información de Schwarz (SC)

El criterio de información de Schwarz, se utiliza para seleccionar un modelo de entre varios modelos econométricos y se calcula de la siguiente forma:

$$BIC = n * \ln(\hat{\sigma}_e^2) + k * \ln(n)$$

donde: k es una compensación entre el ajuste del modelo, que minimiza la suma de cuadrados del error y la complejidad del modelo.

El mejor modelo es aquel que minimiza el criterio de información de Schwarz. Un valor bajo de BIC implica que existen pocas variables explicativas, mejor ajuste o ambos.

#### d) Criterio de Información de Hannan - Quinn

Este criterio es una alternativa para el criterio de información de Akaike, este criterio se calcula de la siguiente forma:

$$HQC = n \log \left( \frac{RSS}{n} \right) + 2k \log \log(n)$$

donde: k es el número de parámetros, n el número de observaciones y RSS la suma de cuadrados de los residuales (estimador de la varianza) de la regresión.

Posteriormente al uso de la prueba de longitud del retardo, se realiza la prueba de exclusión de retardos, la cual se describe a continuación.

## Prueba de exclusión de retardos del modelo VAR

Esta prueba es un complemento de la prueba de longitud de retardo, analiza si los retardos tienen algún efecto significativo o no (en forma individual o conjunta) sobre el sistema del VAR, esto se realiza con la finalidad de elegir el retardo óptimo.

| Hipótesis  | Estadístico                 | Decisión   |
|--|-----------------------------|--|
| $H_0$ : Los coeficientes de los retardos son conjuntamente no significativas diferentes de cero. | W estadístico (chi) de Wald | Rechace $H_0$ si la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Los coeficientes de los retardos son conjuntamente significativas diferentes de cero.    |                             | No rechace a $H_1$ si la probabilidad es mayor que 0.05  |

Posteriormente al uso de las pruebas de longitud del retardo y exclusión de retardos, conviene investigar la estabilidad del modelo VAR a través de la examinación de sus raíces inversas, como se describe a continuación.

## Examinación de las raíces inversas del polinomio autorregresivo del modelo VAR

Examinar las raíces inversas del polinomio autorregresivo del modelo VAR, permite probar la estabilidad del modelo estimado, para esto se utiliza el siguiente criterio

| Sistema estable   | Sistema marginalmente estable         | Sistema inestable                       |
|---|---------------------------------------|---|
| Si todos los valores propios son menores que 1, por lo tanto caen dentro de un círculo unitario | Al menos un valor propio es igual a 1 | Al menos un valor propio es mayor que 1 |

Partiendo del supuesto de existencia de relaciones de cointegración, los valores propios del polinomio autorregresivo (eigenvalores) de la matriz de acompañamiento deberían estar dentro de un círculo unitario, además aquellos valores que se encuentren cercanos al límite del círculo determinarían el número de tendencias comunes.

Una vez que se determina que el sistema es estable y estacionario, se puede utilizar la prueba de exclusión de retardos, la cual se describe a continuación.

### 2.7.2.2 Diagnóstico de los residuos del VAR estimado

Una vez obtenidos los resultados del modelo VAR se procede a la aplicación de pruebas del diagnóstico de los residuos del modelo, las cuales se describen a continuación.

#### Correlograma de los residuos del modelo VAR

Muestra un correlograma cruzado de los residuos estimados en el modelo VAR para un número determinado de retardos. Las líneas punteadas en el gráfico representan más o menos dos veces el error estándar asintótico de las correlaciones retardadas.

| Hipótesis                      | Estadístico                | Decisión   |
|--------------------------------|----------------------------|--|
| $H_0$ : No hay autocorrelación | Correlograma estadístico Q | Rechace $H_0$ si el 5% o más de las barras caen fuera de los intervalos de confianza.    |
| $H_1$ : Hay autocorrelación    |                            | No rechace a $H_0$ si el 95% o más de las barras caen dentro del intervalo de confianza. |

#### Estadístico multivariado Q de Box-Pierce/Ljung-Box

Esta prueba indica si existe dependencia entre los “m” primeros residuos estimados, es decir, si estos residuos presentan correlación no nula.

| Hipótesis  | Estadístico | Decisión  |
|--|-------------|---|
| $H_0$ : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo “h” | Ljung - Box | Rechace $H_0$ si el valor de probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Hay autocorrelación hasta el retardo “h”         |             | No rechazar $H_1$ si el valor de probabilidad es mayor que 0.05   |

Nota: La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR, y  $h$  son los grados de libertad de la distribución Chi cuadrado.

### Prueba de multiplicador de Lagrange (LM)

Se usa para detectar autocorrelación de cualquier orden, especialmente en aquellos modelos con o sin variables dependientes retardadas. Permite determinar si existe correlación en los residuos hasta un determinado orden:

| Hipótesis  | Estadístico  | Decisión   |
|--|--|--|
| $H_0$ : No hay autocorrelación hasta el retardo de orden “h” | LM= $T \cdot R^2$ (número de observaciones por R cuadrado) | Rechace $H_0$ si el valor de probabilidad es menor o igual a 0.05% |
| $H_1$ : Hay autocorrelación hasta el retardo de orden “h”    |  | No rechazar a $H_0$ si el valor de probabilidad es mayor que 0.05% |

### Prueba de normalidad de los residuos

El estadístico Jarque Bera es una prueba asintótica de normalidad para grandes muestras, cualquier prueba de normalidad es un proceso estadístico utilizado para determinar si una muestra o cualquier grupo de datos se ajusta a una distribución estándar normal. En el caso particular de este trabajo, los residuos del modelo VAR.

El test de Jarque Bera analiza la relación entre el coeficiente de apuntamiento y la curtosis de los residuos de la ecuación estimada y los correspondientes de una distribución normal, de forma tal que si estas relaciones son suficientemente diferentes se rechazará la hipótesis nula de normalidad.

| Hipótesis                            | Estadístico | Decisión   |
|--------------------------------------|-------------|--|
| $H_0$ : Los residuos son normales    | Jarque Bera | Rechace $H_0$ si el valor de la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Los residuos no son normales |             | No rechazar $H_0$ si el valor de la probabilidad es mayor que 0.05   |

### Prueba de heterocedasticidad de los residuos

La prueba de heteroscedasticidad de White sin términos cruzados se aplica para probar el supuesto del modelo de regresión lineal es que todos los términos errores tienen la misma varianza. Si este supuesto se satisface, entonces se dice que los errores del modelo son homocedásticos de lo contrario son heterocedásticos.

| Hipótesis                         | Estadístico   | Decisión   |
|-----------------------------------|---|--|
| $H_0$ : Residuos homocedásticos   | F y Chi = $N \cdot R^2$<br>(número de observaciones por R cuadrado) | Rechace $H_0$ si el valor de la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Residuos heterocedásticos |   | No rechace $H_0$ si la probabilidad es mayor que 0.05                |

### 2.7.2.3 Conclusión general del diagnóstico del VAR y prueba de los residuos

La conclusión de los resultados de las pruebas descritas anteriormente se basara en los siguientes dos puntos:

- Longitud optima del VAR (número de retardos)
- Los residuos cumplen con todos los supuestos de Gauss Markov, referente a ausencia de autocorrelación, normalidad y homocedasticidad en los errores

Una vez terminado este paso en la metodología de Johansen, se procede a la realización de la prueba de traza y la prueba de eigenvalor máximo, las cuales se presentan a continuación.

### 2.7.3 Prueba de la traza y prueba de eigenvalor máximo

La metodología de [Johansen \(1988\)](#) considera la prueba de la traza (trace test) y la prueba del máximo valor propio (maximum eigenvalue test) para determinar el número de vectores de cointegración “r”.

| Hipótesis   | Estadístico                 | Decisión   |
|---|-----------------------------|--|
| Ninguno<br>$H_0$ : $r=0$ no existen vectores de cointegración<br>$H_1$ : $r=1$ Existeun vector de cointegración                             | Traza y máximo valor propio | Rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico de la traza y máximo valor propio sea mayor que el valor critico seleccionado, normalmente al 5% |
| Cuando más uno<br>$H_0$ : $r \leq 1$ Cuando más existe un vector de cointegración<br>$H_1$ : $r=2$ Existe más de un vector de cointegración |                             | No rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico la traza y máximo valor propio sea menor que el valor critico seleccionado, normalmente al 5% |

El programa estadístico Eviews plantea y analiza secuencialmente las hipótesis nulas (ninguno, cuando más uno, cuando más dos, etc.), hasta tanto se rechace  $H_0$ .

### **Vector de cointegración de largo plazo**

El vector de cointegración no está identificado, a menos que el investigador imponga alguna normalización arbitraria. La apariencia de la relación de cointegración normalizada depende de la forma como se hayan ordenado las variables endógenas en el VAR.

La normalización consiste en convertir un vector dado en otro proporcional a él con módulo 1, esto se obtiene dividiendo el módulo entre él mismo. Finalmente siguiendo con lo que es tradicional en la literatura de la cointegración se multiplica el vector normalizado por -1 y se reordenan los términos de tal manera que el vector se interprete como una función de consumo.

#### **2.7.4 Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC)**

Un modelo de vector de corrección del error (VEC) es un modelo VAR restringido (habitualmente con sólo dos variables) que tiene restricciones de cointegración incluidas en su especificación, por lo que se diseña para ser utilizado con series que no son estacionarias pero de las que se sabe que son cointegradas.

El principio detrás de estos modelos es que existe una relación de equilibrio a largo plazo entre variables económicas y que, sin embargo, en el corto plazo puede haber desequilibrios. Con los modelos de corrección del error, una proporción del desequilibrio de un período (el error, interpretado como un alejamiento de la senda de equilibrio a largo plazo) es corregido gradualmente a través de ajustes parciales en el corto plazo.

# CAPÍTULO III. MARCO CONTEXTUAL

---

En este capítulo se presenta una breve descripción de la reforma constitucional en materia de energía eléctrica realizada en México en el año 2013, el texto fue tomado del documento oficial Reforma Energética publicado por la Secretaría de Gobernación (SEGOB).

## 3.1 Reforma constitucional nacional en materia de energía del año 2013

La [Reforma Energética \(2013\)](#) que se ha aprobado en dicho año por el Congreso de la Unión, está basada en las ideas fundamentales de las reformas llevadas a cabo por el presidente Lázaro Cárdenas, destacando la propiedad y el dominio exclusivo de la nación en el manejo del petróleo y de todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos, en el subsuelo. De forma análoga, se retoman las ideas que guiaron las reformas legales cardenistas en materia eléctrica, que buscaban el desarrollo de un sistema nacional eléctrico basado en principios técnicos y económicos, bajo la conducción y regulación del Estado.

### Objetivos de la reforma:

1. Crecimiento económico: México está llamado a aprovechar sus recursos energéticos en favor de una mayor inversión y la generación de alrededor de medio millón de empleos adicionales para 2018 y de dos y medio millones para 2025, a partir de iniciativas que promuevan el abasto de energía en cantidades suficientes y a costos competitivos.
2. Mejora en la economía familiar: La reforma permitirá reducir el precio de la electricidad y el gas, tanto natural como licuado de petróleo. La disponibilidad de gas natural más barato permitirá contar nuevamente con fertilizantes nacionales a un mejor precio, lo que resultará en alimentos más baratos.
3. Desarrollo incluyente: El acceso a la energía permitirá democratizar la productividad y la calidad de vida de la población en las distintas regiones del país, además el Estado contará con mayores recursos para combatir la pobreza.

4. Seguridad energética: Se debe aprovechar la disponibilidad de energía primaria en el territorio nacional para lograr la procuración continua, diversificada y económica del suministro energético para ésta y las siguientes generaciones.
5. Fortalecimiento del papel del Estado como rector de la industria petrolera y eléctrica: Dotarle de nuevas herramientas para la definición y conducción de la política energética del país, que permitan una adecuada y prudente administración del patrimonio energético nacional.
6. Transparencia: Garantizar a los mexicanos el adecuado acceso a la información sobre la administración del patrimonio energético nacional.
7. Sustentabilidad y protección del medio ambiente: Es posible mitigar los efectos negativos que la producción y el consumo de energías fósiles puedan tener sobre la salud y el medio ambiente, mediante la mayor disponibilidad de fuentes de energía más limpias.

La presente investigación tiene su base en el segundo objetivo de esta reforma, el cual esencialmente busca disminuir tanto el nivel de precios de la energía eléctrica como también el nivel de precios del gas natural. Esta reducción se logrará a partir de la disminución de costos de producción en la industria eléctrica, el incremento en la oferta de electricidad disponible, la operación eficiente del Sistema Eléctrico Nacional, así como el fortalecimiento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

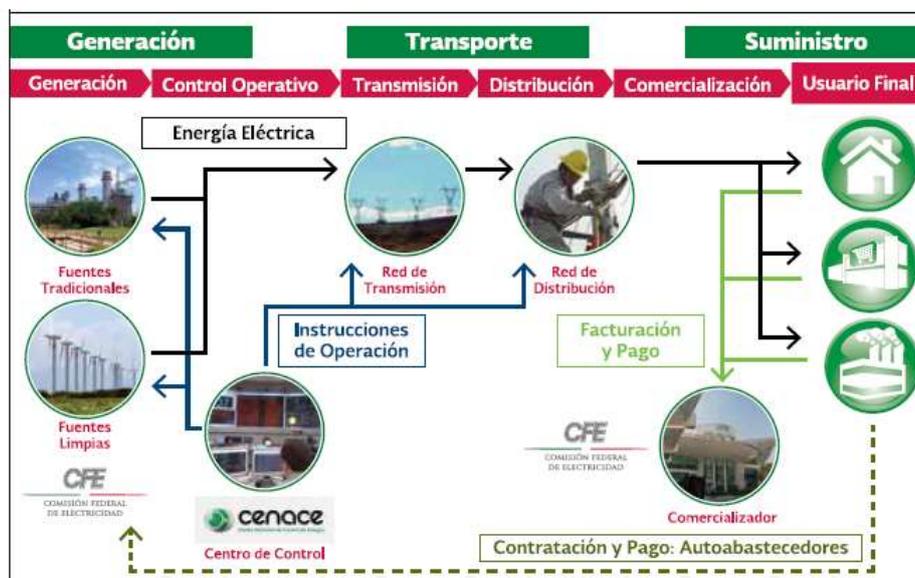
En relación a lo anterior específicamente se tiene interés en conocer los efectos en el consumo de energía eléctrica respecto a los posibles cambios en su precio en el corto y largo plazo, para el sector residencial en el Estado de México.

A continuación se presenta un diagnóstico del sector eléctrico nacional, el modelo que ha propuesto la actual reforma energética y los resultados que se esperan a partir de su implementación.

### 3.2 Diagnóstico del sector eléctrico

El sector eléctrico en México se conforma por las actividades de generación, control operativo, transmisión, distribución y comercialización. Salvo bajo algunos esquemas claramente definidos en generación de energía eléctrica, el sector es conducido y operado por la CFE. En la Figura 3.1 se describe el funcionamiento del sector eléctrico en México

**Figura 3.1 Funcionamiento del sector eléctrico en la actualidad**



Fuente: Reforma Energética (2013)

El diagnóstico del sector eléctrico se divide en las siguientes secciones:

#### 1. Falta de competitividad de las tarifas eléctricas

El gasto en tarifas del servicio eléctrico en el que incurren principalmente los consumidores comerciales, industriales y de servicios en México es elevado y no es competitivo a nivel internacional. Una comparación con Estados Unidos muestra que, en promedio, nuestras tarifas, aun subsidiadas, son 25% más altas que las de dicho país. Por su parte respecto de las tarifas residenciales subsidiadas en el primer trimestre de 2013, las tarifas de la CFE fueron 24% menores a las equivalentes en Estados Unidos, pero ello es resultado de un alto costo de las finanzas públicas. El monto del subsidio total asignado en el primer semestre de 2013 fue cercano a 0.75 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) en el mismo periodo. Aún

subsidiado, el costo de la electricidad representa un porcentaje importante de la economía familiar.

La baja competitividad de las tarifas eléctricas constituye un freno a la economía mexicana. El suministro de electricidad a precios más accesibles incrementaría el ingreso disponible de las familias mexicanas y aumentaría la productividad del sector industrial y particularmente de las pequeñas y medianas empresas generando más empleo.

## **2. Limitaciones y costos en la generación de energía eléctrica**

Actualmente México cuenta con una capacidad efectiva de 63 Gigawatts. De dicha capacidad, cerca de 64% es operada por la CFE, y el 36% restante por particulares bajo los esquemas de Productor Independiente de Energía Eléctrica (PIE), autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, exportación y usos propios.

La reforma de 1992 permitió la participación privada bajo ciertos esquemas claramente definidos, destacando la producción independiente, el autoabastecimiento y la cogeneración. No obstante, esta apertura resultó limitada al circunscribir la venta del flujo eléctrico de los productores independientes a la CFE, y al no incluir un mecanismo eficiente para despachar los excedentes de los autoabastecedores.

La reforma de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de 1992 concibió cinco esquemas de producción por particulares: Productor Independiente de Energía Eléctrica (PIE), autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, y exportación e importación. Anteriormente, se otorgaron permisos de generación para usos propios continuos.

La apertura limitada a la participación privada en la generación eléctrica ha contribuido parcialmente a satisfacer la creciente demanda de electricidad y a ofrecer mejores tarifas a algunos grandes consumidores en México. La participación de generadores privados con contrato de CFE se enfrenta a las limitaciones presupuestales de la comisión.

Ante la dificultad de colocar excedentes con la CFE, solamente aquellos consumidores que cuentan con la escala suficiente para aprovechar toda la energía eléctrica generada por sus plantas, pueden recibir los beneficios de un bajo costo de generación. El esquema actual se

está agotando y los beneficios no están siendo distribuidos a toda la sociedad, los únicos que se benefician son los grandes consumidores.

### **3. Limitaciones en la transmisión y distribución de energía eléctrica**

Un rezago significativo en el sector es la falta de inversión en la red nacional de transmisión eléctrica. Dicha insuficiencia se debe en parte a una planeación que no ha tomado en cuenta la generación privada, ni las posibilidades de las regiones con alto potencial en energías renovables.

Actualmente, 47% de las líneas de transmisión de CFE tiene más de 30 años de antigüedad y únicamente 8% han sido construidas en los últimos 5 años.

La CFE tiene programada una expansión de 1.1% anual de la red de transmisión entre 2013 y 2026. Este programa de expansión requerirá una inversión del orden de 244 mil millones de pesos incluyendo las redes de sub-transmisión; sin embargo, no será suficiente para atender el crecimiento esperado de la demanda de electricidad en el país de 4.1% anual para el mismo periodo.

Para generar un mercado competitivo con acceso a transmisión para los nuevos proyectos de energías limpias es necesario que la red de transmisión se expanda por encima del crecimiento de la demanda.

En materia de distribución eléctrica, las pérdidas de la CFE han aumentado, al pasar de 12% de energía no cobrada en 1980 a 17% en 2010, expresadas como porcentaje del consumo neto. En el mismo periodo, la cifra correspondiente en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) se ha reducido, pasando de un rango entre 5% y 12% en 1980 a un rango entre 3% y 8% en el año 2010.

En 2012, las pérdidas por concepto de distribución en México alcanzaron 15.3%. Sumando las pérdidas de distribución con las pérdidas de comercialización (facturación y cobro), un total de 21.28% de la energía generada y adquirida por CFE no se cobró.

#### **4. Conflictos de interés en el Sistema Eléctrico Nacional**

Actualmente el Centro Nacional de Control Eléctrico (CENACE), que se encuentra dentro de la estructura orgánica de la CFE, es la entidad encargada del despacho eléctrico en México. Uno de los problemas que enfrenta el CENACE es que las reglas de despacho estipulan que se minimizarán los costos de generación, pero a la vez, existen restricciones a la participación de auto-abastecedores y cogeneradores para vender energía excedente al Sistema Eléctrico Nacional. Esta condición puede resultar en detrimento del uso de las plantas más eficientes y a fin de cuentas, de la competitividad de las tarifas finales a los consumidores.

Asimismo, la CFE establece las condiciones para dar acceso a la interconexión física de las nuevas centrales eléctricas a la red de transmisión eléctrica. En las mejores prácticas internacionales, esta función se lleva a cabo por el operador independiente del sistema, para evitar el conflicto de interés que surge cuando la empresa que otorga el acceso a la red es competidor de las empresas de generación que solicitan dicho acceso.

Tampoco existen estándares claros para preservar la integridad y estabilidad de la red, y se cuenta con poca transparencia respecto de los indicadores de confiabilidad reportados, lo cual le resta certidumbre operativa al sistema eléctrico en su conjunto. En las mejores prácticas de la industria, un organismo independiente establece y vigila el cumplimiento de los estándares de confiabilidad del sistema.

Por último, no se han establecido mecanismos que permitan planear adecuadamente el crecimiento del Sistema Eléctrico Nacional, tomando en consideración las necesidades de todos los generadores y consumidores en el mercado.

#### **5. Situación financiera de la Comisión Federal de Electricidad**

En el año 2012, la CFE presentó un déficit financiero de 77 mil millones de pesos, del cual la CFE absorbió 33.4 mil millones mediante decrementos de su patrimonio. Asimismo, en los primeros 6 meses de 2013, el patrimonio de la empresa disminuyó en 35 mil millones de pesos, cifra superior a toda la disminución de 2012. De continuar la tendencia actual, el patrimonio neto de la empresa será negativo a partir del año 2014 y es previsible que, en ausencia de la reforma, continúe deteriorándose.

## **6. Limitaciones en la transición energética**

A partir de los años noventa, la CFE incrementó significativamente la generación eléctrica a base de ciclos combinados de gas natural, que resultan entre cuatro y seis veces más baratos y tienen menor impacto ambiental que el combustóleo y el diesel. Sin embargo, bajo el marco jurídico actual, la CFE ha enfrentado diversas dificultades en la sustitución de combustibles, debido a sus propias restricciones de planeación, financiamiento y ejecución de proyectos.

En 2012, el Congreso de la Unión aprobó la Ley General de Cambio Climático, en la cual el país establece como meta la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en 30% para el año 2020 y 50% para el 2050, en relación con la línea base de emisiones del año 2000. En dicha Ley se establece que al menos 35% de la generación eléctrica del país deberá provenir de fuentes limpias para 2024. El porcentaje de 35% corresponde a lo dispuesto en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento de la Transición Energética, que requiere metas de 35% energías no-fósiles en la generación eléctrica para el año 2024, subiendo a 40% en 2035 y 50% en 2050.

La participación de energías no-fósiles en la generación para el servicio público fue apenas de 18.3% de la energía generada en 2012, por lo que se requieren de grandes inversiones para diversificar la matriz energética e incrementar la capacidad instalada de generación en México.

En 2012, China, Estados Unidos y la India contaban con una capacidad instalada de generación a base de energías renovables (sin incluir hidroeléctricas) de 90, 86 y 24 Gigawatts respectivamente, mientras que México apenas contaba con 2.4 Gigawatts. Esto se debe en parte a que la estructura actual del mercado eléctrico nacional no promueve la adopción a gran escala de las energías renovables. Este modelo no tiene la flexibilidad necesaria para integrar de manera eficiente las energías renovables, ya que el acceso a la red de transmisión para nuevas plantas es limitado.

Adicionalmente, el desabasto de gas natural en el mercado interno ha obligado a la CFE a sustituir gas natural por combustóleo. Esto ha tenido un impacto financiero de 18.9 miles de millones de pesos en 2012 y de 8.4 miles de millones de pesos en el primer cuatrimestre de 2013.

### 3.3 La reforma al sector eléctrico nacional

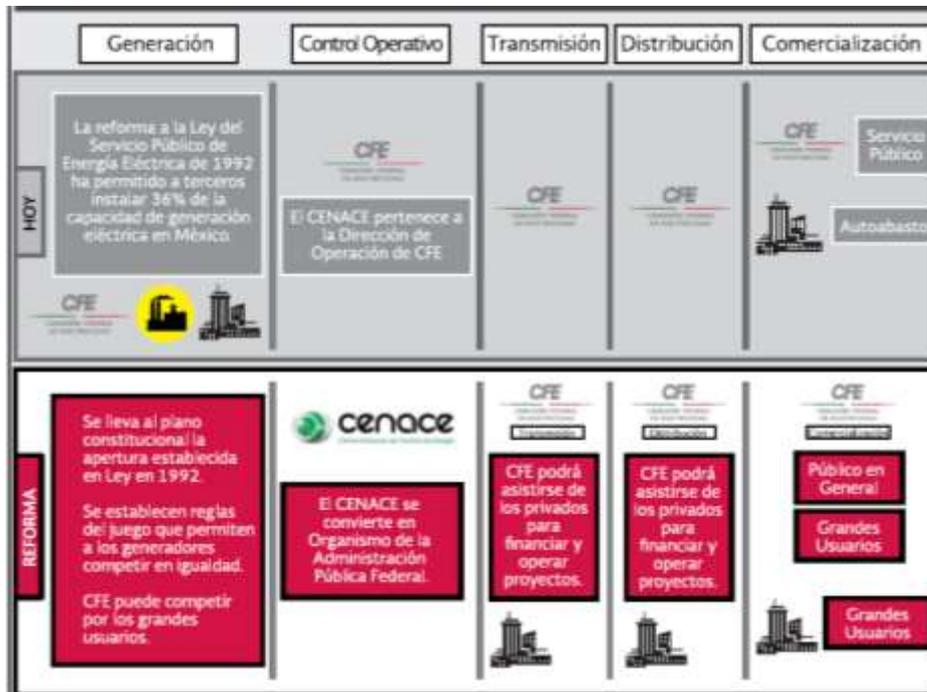
La actual reforma del sector eléctrico es congruente con las ideas fundamentales que guiaron la política energética del Presidente Lázaro Cárdenas y que quedaron establecidas en la Ley por la que se crea la Comisión Federal de Electricidad y la Ley de la Industria Eléctrica. La reforma al sector eléctrico de 2013, tiene los siguientes elementos a destacar:

1. Se reforma el Artículo 27, para permitir la participación de particulares en la generación de electricidad. Con la reforma propuesta, habrá una mayor oferta de electricidad y a menor costo, para beneficio de todos los usuarios, incluyendo los hogares y las micro, pequeñas y medianas empresas, que son las que generan tres de cada cuatro empleos en el país.
2. El Estado mantendrá, en exclusividad, el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como el servicio público de las redes de transmisión y distribución, garantizando el acceso de todos los productores de electricidad a ellas. Con este modelo, se adquirirá la energía en bloque más barata de cada productor.
3. Se fortalece a la Comisión Federal de Electricidad, mediante una mayor flexibilidad operativa y organizacional, que ayudará a reducir costos. Además, la Comisión se verá fortalecida al permitirle competir para recuperar a los grandes usuarios que compran más electricidad, y se le darán las herramientas necesarias para permitirle reducir las pérdidas de energía, el robo y el no pago.
4. Se refuerzan las facultades de planeación y rectoría de la Secretaría de Energía y de su órgano desconcentrado, la Comisión Reguladora de Energía.
5. La Reforma Energética también es una reforma verde, que favorecerá una mayor inversión en el desarrollo tecnológico y la adopción de fuentes de energía menos contaminantes y de bajo costo, como la solar, la eólica y el gas.

En la Figura 3.2 se muestra la cadena de valor de la industria eléctrica en la actualidad, y la compara con el propuesto. El esquema propuesto es congruente con las mejores prácticas

internacionales de la industria eléctrica, incentiva la productividad, la competencia y la reducción de costos.

**Figura 3.2 Comparación del sector hidrocarburos actual y con reforma**



Fuente: Reforma Energética (2013)

A continuación se describe cada uno de los elementos del modelo propuesto.

### a) Generación de energía eléctrica

La Reforma Energética permitirá constitucionalmente la participación de particulares en la generación eléctrica. De esta manera, participarán de manera conjunta y con seguridad jurídica plantas de CFE y de particulares, las cuales podrán vender su energía al Mercado Eléctrico Mayorista, y celebrar contratos con los comercializadores afiliados con la distribución (para el servicio estándar que ofrecerá CFE al público en general) y con los usuarios calificados (grandes usuarios, incluyendo los que actualmente utilizan el autoabastecimiento). Todos los generadores competirán en igualdad de condiciones en un mercado abierto.

## **b) Transmisión de energía eléctrica**

El modelo propuesto por la reforma impulsa la modernización y ampliación de la red nacional de transmisión. La red de transmisión de la CFE se mantendrá bajo su propiedad, pero sujeta a requisitos estrictos de contabilidad separada, calidad de servicio y regulación tarifaria de incentivos. La CFE podrá asistirse de particulares para financiar y operar proyectos de transmisión.

El control operativo de la red nacional de transmisión, que constituye el recurso esencial para la operación de la industria eléctrica en el país, se mantendrá bajo la tutela exclusiva del Gobierno de la República y conservará su carácter de actividad de servicio público. La reforma obliga al gobierno mexicano a garantizar el acceso, así como el uso no discriminatorio y eficiente de la red nacional de transmisión. Ésta es una característica indispensable para una industria donde la empresa estatal y los particulares concurren en la generación de la electricidad.

En las mejores prácticas internacionales destacan la importancia de contar con una entidad independiente que participe en la planeación y la operación de la red de transmisión, así como el despacho de la energía. Actualmente en América Latina, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Perú, El Salvador y Uruguay tienen un mercado eléctrico con un operador independiente, al igual que la mayoría de los países de la OCDE.

El operador de la red de transmisión eléctrica en México se denominará Centro Nacional de Control de Energía y Mercado Eléctrico y será independiente de los operadores públicos y privados, y desempeñará su labor de manera imparcial, con base en criterios técnicos y económicos.

En este esquema, el operador del sistema recibirá las solicitudes de interconexión de todos los proyectos de generación, independiente de su promotor, y propondrá a la Secretaría de Energía las obras requeridas para optimizar el desempeño del sistema. Asimismo, el operador procurará que los recursos de menor costo se despachen primero, minimizando así las barreras a la participación para todos los generadores. El operador independiente es un elemento fundamental para asegurar el acceso abierto y equitativo a la red de transmisión,

que además permite que los mejores proyectos de generación puedan suministrar su producto, siempre en beneficio de los consumidores.

#### **c) Distribución de energía eléctrica**

Las redes de distribución de la Comisión Federal de Electricidad se mantendrán bajo su propiedad, pero sujetas a requisitos estrictos de contabilidad separada, calidad de servicio y regulación tarifaria de incentivos para cada división de distribución. Asimismo, existe una oportunidad significativa de reducir costos y mejorar las finanzas de la CFE mediante la disminución de las pérdidas de energía. En este sentido, la CFE podrá asistirse de particulares para financiar y operar proyectos de distribución.

#### **d) Fortalecimiento de la Comisión Federal de Electricidad**

El modelo propuesto busca revertir el deterioro creciente del patrimonio de la CFE, al dotarla de mayor flexibilidad operativa. La CFE se convertirá en organismo cuyas características sean de una empresa pública productiva con un mandato claro de generación de valor económico y un gobierno corporativo moderno.

Con la reforma, la CFE podrá comprar y maximizar los insumos energéticos que requiere para su operación. Asimismo, podrá competir en igualdad de circunstancias con los otros permisionarios de generación, y así recuperar usuarios calificados que han optado por el autoabastecimiento.

También tendrá mayor flexibilidad para financiar y contratar con particulares el desarrollo, mantenimiento y operación de nuevas líneas de transmisión y distribución.

#### **e) Fortalecimiento del Estado Mexicano**

En el plano institucional, la reforma al sector eléctrico fortalecerá al Estado. La Secretaría de Energía formulará los programas de desarrollo de la industria eléctrica, publicará la prospectiva del sector, fijará la política de establecimiento de nuevas centrales de generación y determinará el consumo que se requiere para adquirir la calidad de usuario calificado. Asimismo, la Secretaría de Energía emitirá las reglas de operación del mercado eléctrico

mayorista, aprobará los programas de expansión de la red nacional de transmisión y delimitará las zonas de distribución de la Comisión Federal de Electricidad.

Por su parte, la Comisión Reguladora de Energía establecerá y vigilará los estándares de calidad y confiabilidad de suministro, otorgará permisos de generación, llevará el registro de usuarios calificados, expedirá modelos de contrato, resolverá controversias relacionadas con la interconexión y medición, y verificará el cumplimiento de las obligaciones de capacidad.

#### **f) Transición y eficiencia energética**

La reforma establece una base constitucional que fomenta el uso de energías limpias, la atención a aspectos sociales y promueve la eficiencia energética. Para ello, se le otorgarán al Gobierno de la República instrumentos efectivos de política energética, para impulsar el desarrollo de aquellos tipos de generación eléctrica que tienen un menor impacto ambiental y social.

Las limitaciones del modelo actual para agregar capacidad de energías renovables es uno de los elementos importantes que se corregirá mediante la creación de un mercado competitivo de generación eléctrica, administrado por un operador independiente (separado de CFE y dependiente del Gobierno de la República), bajo reglas claras, transparentes y equitativas. Con esta base constitucional se impulsará el desarrollo de las regiones con alto potencial eólico, con alta irradiación solar, con potencial geotérmico de alta entalpía, así como el aprovechamiento de residuos urbanos y agroforestales como fuente de biomasa, y la instalación de pequeñas centrales hidráulicas en nuestros ríos.

### **3.4 Beneficios de la reforma energética en materia de electricidad**

El beneficio más significativo de la reforma constitucional al sector eléctrico será la reducción de las tarifas eléctricas. La reducción de las tarifas eléctricas será posible gracias a la disminución de costos de producción en la industria, la operación eficiente del Sistema Eléctrico Nacional, así como el fortalecimiento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

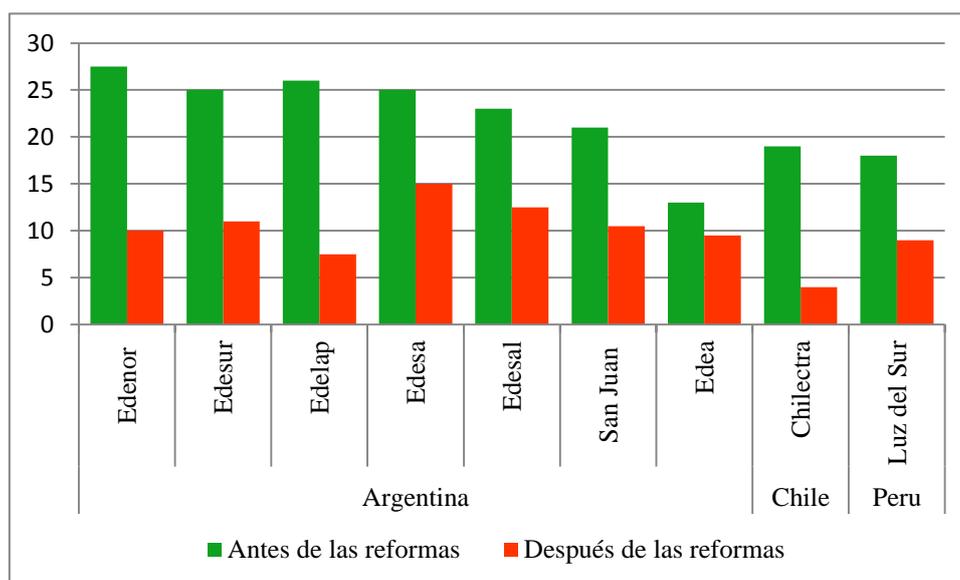
En particular, los costos de producción se verán reducidos gracias a la reforma en materia de hidrocarburos, que generará un nuevo entorno para el incremento en la oferta de combustibles baratos, en particular gas natural.

La reforma al sector eléctrico brindará certidumbre jurídica a los proyectos de inversión privada, mientras que el mercado les dará mayor seguridad económica. La competencia en la generación eléctrica, aunada al establecimiento del operador independiente que garantice el acceso y el uso no discriminatorio de la red de transmisión, propiciará una reducción de costos a nivel industria.

Con la Reforma Energética será posible acelerar la sustitución de combustóleo por gas natural y por energías renovables en la generación eléctrica, ya que la CFE dejará de ser la autoridad que determine la interconexión de los generadores privados. Esto permitirá que haya múltiples desarrolladores responsables del aumento de capacidad en la industria.

La experiencia internacional de países latinoamericanos muestra que puede haber una reducción significativa de pérdidas en la distribución de energía eléctrica (técnicas y no técnicas) como se aprecia en la Figura 3.3. Se estima que una reforma al sector, con un enfoque en la reducción de pérdidas, podría traducirse en ahorros del orden de 10% de los costos de generación (dado que la energía que no se pierde, no se tiene que generar), hacia finales del año 2020.

**Figura 0.4 Reducción de pérdidas (técnicas y no técnicas)**



Fuente: Reforma Energética (2013)

Por último, cabe destacar la importancia de la eficiencia energética para reducir los costos del suministro y el impacto ambiental de la industria. Los proyectos de eficiencia, desde el reemplazo de luminarias, motores y otros equipos con tecnología más eficiente, hasta la instalación de aislamiento térmico y la reingeniería de procesos industriales, recuperan sus costos de inversión en unos pocos años. Sin embargo, se requiere un impulso para que estos proyectos se concreten en los diversos puntos de consumo eléctrico en el país. La Reforma Energética aprovechará la nueva estructura del mercado, creando un marco legal para fomentar los proyectos de eficiencia. En suma, la Reforma Energética reducirá las tarifas eléctricas para las familias, comercios e industrias en México. Con base en los principios de la política energética del Presidente Cárdenas, se consolidará un modelo que reafirme la rectoría del Estado, fortalezca a la industria eléctrica y a la CFE, y al mismo tiempo aumente la productividad y competitividad de nuestro país.

# CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

---

Para contestar la pregunta de investigación y contrastar las hipótesis planteadas, se siguió la siguiente metodología:

1. Se especificó un modelo de demanda residencial de energía eléctrica estilo Cobb – Douglas para el Estado de México. La elección de las variables utilizadas se basó en la teoría del consumidor y en una revisión bibliográfica de literatura especializada sobre el sector eléctrico mexicano a nivel nacional y estatal.
2. Una vez elegidas las variables seleccionadas en el modelo de demanda, se utilizaron sus respectivas series de tiempo en frecuencia mensual que corresponden al periodo de enero del 2002 a febrero del 2014; estas presentaron un comportamiento no estacional, el cual podría poner en riesgo la confiabilidad estadística de los estimadores de una regresión de mínimos cuadrados (relación espuria), por tanto se utilizó como alternativa econométrica para realizar la estimación la teoría de cointegración y con ésta verificar la posible existencia de relaciones de corto y largo plazo.
3. Para realizar el análisis multivariado de cointegración de una función tradicional de demanda con 6 variables, fue necesario usar el método de Johansen utilizando para ello el software estadístico EViews, con el cual se pudieron obtener los vectores de cointegración y un modelo de corrección de errores que se interpretaron como las elasticidades de largo y corto plazo respectivamente.
4. Finalmente con los resultados obtenidos, se dio respuesta a la pregunta de investigación y se realizó la contrastación de las hipótesis planteadas.

## **4.1 Especificación del modelo de demanda de energía eléctrica en el Estado de México**

De acuerdo con el planteamiento teórico económico presentado anteriormente, en este apartado se formula el modelo empírico que permitirá cuantificar el efecto de los precios e ingreso sobre la demanda del servicio público eléctrico para consumo residencial.

La demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México, de acuerdo a [Morales Ramírez et al.\(2012\)](#) y a [Castro\(2000\)](#), se puede representar aproximadamente por un modelo estilo Cobb – Douglas y posteriormente adoptar una forma funcional lineal logarítmica, ésta última permite obtener directamente las elasticidades de las distintas variables. Por lo tanto la función de partida es la siguiente:

$$Q_t = AY_t^{\beta_1}Pe_t^{\beta_2}Pa_t^{\beta_3}Pg_t^{\beta_4}U_t^{\beta_5}e^{E_t} \dots\dots\text{Modelo 1}$$

Aplicando logaritmos se tiene:

$$\ln Q_t = \alpha_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln Pe_t + \beta_3 \ln Pa_t + \beta_4 \ln Pg_t + \beta_5 \ln U_t + E_t \dots\dots\text{Modelo 1'}$$

**donde:**

- $Q_t$  Consumo residencial de electricidad en el Estado de México  
(Megawatts-hora MWh)
- $Y_t$  Ingreso proxy  
(PIB per cápita mensual aproximado para el Estado de México pesos/persona)
- $Pe_t$  Precio medio real de la electricidad en el Estado de México  
(centavos por kilowatts-hora centavos/kWh)
- $Pa_t$  Precio medio real del servicio agua en el Estado de México  
(pesos por metro cúbico pesos/m<sup>3</sup>)
- $Pg_t$  Precio medio real del gas L.P en el Estado de México (pesos por kilogramo  
pesos/kg)
- $U_t$  Número de usuarios del servicio eléctrico en el sector residencial del Estado de  
México
- $E_t$  Error del modelo

## **4.2 Series de tiempo de las variables utilizadas en el modelo de demanda**

Se conformó un conjunto de series de tiempo en frecuencia mensual que corresponden al periodo de enero del 2002 a febrero del 2014, dando un tamaño de muestra de 146 datos. Las fuentes de cada una de las series se presentan a continuación:

### **1. Consumo residencial de electricidad en el Estado de México**

El consumo eléctrico del sector tarifario residencial del Estado de México expresado en Megawatts-hora (MWH), se obtuvo a partir del Sistema de Información Energética (SIE) que provee la Secretaría de Energía (SENER) y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

### **2. Variable proxy al ingreso PIB per cápita mensual**

Se consideró como variable proxy al ingreso, el producto interno bruto per cápita del Estado de México, expresada en términos reales a precios del año 2003. Esta serie de tiempo es resultado del empalme de datos obtenidos en dos investigaciones distintas, la primera de ellas es la realizada por [Elizondo \(2012\)](#), la cual está enfocada específicamente en la medición del PIB per cápita en México en frecuencia mensual, la segunda es la realizada por [Gómez - Ugalde et al.\(2012\)](#), en la cual se analizan los determinantes de la demanda de agua residencial para el municipio de Texcoco en el Estado de México, utilizando como variable proxy el PIB per cápita del municipio en frecuencia bimestral.

### **3. Precio medio real de la electricidad**

El precio medio real al consumidor de la energía eléctrica para el sector tarifario residencial expresado en pesos por kilowatt hora (\$/kWh), fue obtenido del SIE y de la CFE.

### **4. Precio medio real del servicio agua**

La serie de tiempo del precio medio al consumidor del agua, expresada en pesos por metro cúbico (\$/m<sup>3</sup>), fue determinada en función de los lineamientos establecidos en el código financiero del Estado de México, en su sección quinta que establece la tarifa que los usuarios deben pagar a la Comisión del Agua.

## **5. Precio medio real del gas L.P**

El precio medio al consumidor del gas L.P para uso residencial del Estado de México fue obtenido del SIE.

## **6. Número de usuarios del servicio eléctrico**

La serie de tiempo que corresponde al número de usuarios del servicio público de energía eléctrica para el sector tarifario residencial del Estado de México fue obtenida del SIE y de la CFE.

# CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL METODO DE COINTEGRACION DE JOHANSEN

---

En este capítulo se muestra la aplicación del procedimiento de Johansen (descrito a detalle en la sección 2.7) a las seis series de tiempo seleccionadas y haciendo uso del modelo presentado en el capítulo IV, se obtuvieron los resultados que a continuación se presentan.

La series de tiempo utilizadas en el presente estudio y sus estadísticas descriptivas se muestran en el Anexo A.

## 5.1 Orden de integración de las series de tiempo incluidas en el modelo de demanda

La aplicación de las pruebas informales (descritas en la sección 2.7.1.1) se muestra en el Anexo B, de estas se concluyen las siguientes observaciones:

- La representación gráfica de las seis series de tiempo presentadas en conjunto en la Figura 6.1, demuestra que éstas crecen en el tiempo lo cual es un comportamiento característico de series no estacionarias.
- Los correlogramas de las seis series tiempo utilizadas (Figuras 6.2 a 6.7), muestran en cada caso que los valores de la función de autocorrelación muestral con respecto a la longitud del retardo comienzan en un valor muy alto que decae muy lentamente hacia cero, lo cual es también un comportamiento característico de series no estacionarias.
- A partir de las dos observaciones anteriores se concluye que se deben aplicar primeras diferencias a cada una de las series de tiempo, esto con el fin de hacerlas series estacionarias y que por lo tanto sean integradas de orden 1.

La aplicación de las pruebas formales (descritas en la sección 2.7.1.2) se muestra en extenso en el Anexo C, a partir de éstas se presenta a continuación una tabla resumen con sus principales resultados lo cuales son necesarios para continuar con el método de Johansen.

En la Tabla 5.1 se muestra que las series de tiempo analizadas mediante la prueba de Dickey Fuller Aumentada (ADF) son integradas de orden 1, es decir las series se vuelven estacionarias al transformarlas en primeras diferencias, esto resulta independientemente de las particularidades de cada una de las pruebas, es decir si es que se incluyó o no intercepto o tendencia, cabe señalar que en todas las pruebas el estadístico de Durbin Watson (DW) se encuentra alrededor de un valor de dos, lo cual indica que no existe autocorrelación lo cual es deseable en una prueba ADF.

**Tabla 5.1 Prueba de raíces unitarias ADF**

| <b>Series o variables</b>      | Estadístico ADF | Estadístico DW | Número de retardos | Incluye intercepto | Incluye tendencia | Orden de integración |
|--------------------------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| <b>En nivel</b>                |                 |                |                    |                    |                   |                      |
| $Q_t$                          | -2.103741       | 2.050916       | 2                  | Si                 | No                | I (1)                |
| $Y_t$                          | -2.552802       | 1.919043       | 2                  | Si                 | Si                | I (1)                |
| $Pe_t$                         | -1.088528       | 2.001998       | 12                 | Si                 | No                | I (1)                |
| $Pa_t$                         | -2.349119       | 2.027981       | 0                  | Si                 | Si                | I (1)                |
| $Pg_t$                         | -0.379185       | 2.024898       | 0                  | Si                 | Si                | I (1)                |
| $U_t$                          | -1.050250       | 1.903202       | 1                  | Si                 | Si                | I (1)                |
| <b>En primeras diferencias</b> |                 |                |                    |                    |                   |                      |
| $DQ_t$                         | -10.71229**     | 2.062949       | 2                  | Si                 | No                | I (0)                |
| $DY_t$                         | -8.553859**     | 1.909329       | 1                  | Si                 | No                | I (0)                |
| $DPe_t$                        | -4.645613**     | 2.003256       | 11                 | Si                 | Si                | I (0)                |
| $DPa_t$                        | -3.283544*      | 1.979136       | 13                 | Si                 | Si                | I (0)                |
| $DPg_t$                        | -11.87170**     | 1.996534       | 0                  | Si                 | No                | I (0)                |
| $DU_t$                         | -7.107750**     | 1.923214       | 0                  | Si                 | No                | I (0)                |

Valores críticos de MacKinnon para rechazar la hipótesis de raíz unitaria

\*\* Significante a cualquier nivel: 1%, 5% y 10%

\* Significante a nivel: 10%

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

## 5.2 Modelo Vector Autorregresivo (VAR)

Para estimar el modelo VAR es necesario convertir las series originales en logaritmos para suavizarlas y así evitar que el sistema se vuelva marginalmente inestable.

| Serie original | Logaritmo de la serie |
|----------------|-----------------------|
| $Q_t$          | $\ln Q_t$             |
| $Y_t$          | $\ln Y_t$             |
| $Pe_t$         | $\ln Pe_t$            |
| $Pa_t$         | $\ln Pa_t$            |
| $Pg_t$         | $\ln Pg_t$            |
| $U_t$          | $\ln U_t$             |

El resultado del modelo VAR (descrito en la sección 2.7.2.1) estimado con 6 retardos se presenta en extenso en el anexo D.

Una vez estimado el VAR con 6 retardos, se procedió a analizar sus raíces autorregresivas como lo muestra la Tabla 5.2, mediante el siguiente criterio:

| Sistema Estable   | Sistema Marginalmente estable         | Sistema inestable                       |
|---|---------------------------------------|---|
| Si todos los valores propios son menores que 1, por lo tanto caen dentro de un círculo unitario | Al menos un valor propio es igual a 1 | Al menos un valor propio es mayor que 1 |

**Tabla 5.2 Raíces autorregresivas**

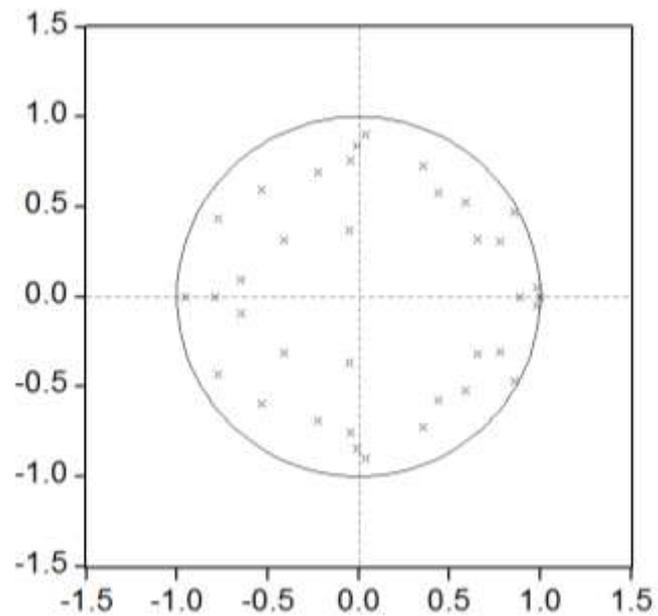
| Endogenous variables: lnQ lnY lnPE lnU lnPG lnPA |                     |
|--|---------------------|
| Exogenous variables: C                           |                     |
| Lag specification: 1 6                           |                     |
| <b>Raíces</b>                                    | <b>Eigenvalores</b> |
| 0.998812   | 0.998812            |
| 0.984311 - 0.050601i                             | 0.985611            |
| 0.984311 + 0.050601i                             | 0.985611            |
| 0.858384 - 0.470330i                             | 0.978792            |
| 0.858384 + 0.470330i                             | 0.978792            |
| -0.950804  | 0.950804            |
| 0.039783 + 0.899649i                             | 0.900529            |
| 0.039783 - 0.899649i                             | 0.900529            |
| 0.887957   | 0.887957            |
| -0.772019 + 0.431519i                            | 0.884434            |
| -0.772019 - 0.431519i                            | 0.884434            |
| -0.007264 + 0.842616i                            | 0.842647            |
| -0.007264 - 0.842616i                            | 0.842647            |
| 0.777683 + 0.307178i                             | 0.836152            |
| 0.777683 - 0.307178i                             | 0.836152            |
| 0.358329 + 0.727132i                             | 0.810630            |
| 0.358329 - 0.727132i                             | 0.810630            |
| -0.532236 + 0.594348i                            | 0.797825            |
| -0.532236 - 0.594348i                            | 0.797825            |
| -0.794709  | 0.794709            |
| 0.587421 + 0.521550i                             | 0.785543            |
| 0.587421 - 0.521550i                             | 0.785543            |
| -0.043264 - 0.756771i                            | 0.758007            |
| -0.043264 + 0.756771i                            | 0.758007            |
| 0.657053 - 0.320081i                             | 0.730870            |
| 0.657053 + 0.320081i                             | 0.730870            |
| -0.225010 - 0.692058i                            | 0.727719            |
| -0.225010 + 0.692058i                            | 0.727719            |
| 0.436735 + 0.575202i                             | 0.722215            |
| 0.436735 - 0.575202i                             | 0.722215            |
| -0.645895 + 0.093667i                            | 0.652652            |
| -0.645895 - 0.093667i                            | 0.652652            |
| -0.407595 + 0.312232i                            | 0.513442            |
| -0.407595 - 0.312232i                            | 0.513442            |
| -0.049829 + 0.367839i                            | 0.371199            |
| -0.049829 - 0.367839i                            | 0.371199            |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

Dado que todos los valores propios de la Tabla 5.2 son menores que uno, se concluye que el sistema es estable y estacionario.

El examen grafico de las raíces del polinomio autorregresivo del VAR mostrado en la Figura 5.1 confirma la estabilidad del modelo dado que todas se encuentran dentro del círculo unitario, seis de éstas se encuentran en el borde del círculo unitario lo cual indica que existen diversas tendencias en común por lo que se espera más de un solo vector de cointegración.

**Figura 5.1 Raíz inversa del polinomio autorregresivo del VAR**



Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

## Determinación del retardo óptimo del VAR

Dado que el modelo VAR es estable se puede proceder con la prueba de longitud de retardo y exclusión de retardo (descrito en la sección 2.7.2.1)

**Tabla 5.3 Prueba de longitud del retardo**

---

Endogenous variables: LQ LY LPE LU LPG LPA  
Exogenous variables: C

---

| Lag | LogL     | LR        | FPE       | AIC        | SC         | HQ         |
|-----|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0   | 1334.409 | NA        | 2.31E-16  | -18.97727  | -18.85120  | -18.92604  |
| 1   | 2293.131 | 1821.571  | 4.35E-22  | -32.15901  | -31.27652  | -31.80039  |
| 2   | 2427.031 | 242.9325  | 1.08E-22  | -33.55758  | -31.91867* | -32.89158* |
| 3   | 2462.223 | 60.83262  | 1.10E-22  | -33.54604  | -31.15071  | -32.57265  |
| 4   | 2490.264 | 46.06689  | 1.25E-22  | -33.43234  | -30.28058  | -32.15156  |
| 5   | 2542.594 | 81.48581  | 1.01E-22  | -33.66563  | -29.75745  | -32.07746  |
| 6   | 2598.377 | 82.08076* | 7.85E-23* | -33.94825* | -29.28364  | -32.05269  |

---

\* indicates lag order selected by the criterion  
LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)  
FPE: Final prediction error  
AIC: Akaike information criterion  
SC: Schwarz information criterion  
HQ: Hannan-Quinn information criterion

---

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

La Tabla 5.4 muestra diversos criterios con el fin de seleccionar la longitud óptima del retardo que será utilizado en las pruebas de cointegración de Johansen. Basado en el criterio de SC y HQ se seleccionó el segundo retardo como el óptimo para estimar el vector de cointegración.

**Tabla 5.4 Prueba de exclusión de retardos**

| Chi-squared test statistics for lag exclusion:<br>Numbers in [ ] are p-values |                     |                        |                        |                       |                        |                      |                         |
|---|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
|   | LQ                  | LY                     | LPE                    | LU                    | LPG                    | LPA                  | Joint                   |
| Lag 1   | 8.4286<br>[ 0.2083] | 15.7446<br>[ 0.0151]   | 123.1187<br>[ 0.0000]  | 174.3590<br>[ 0.0000] | 85.2272<br>[ 3.33E-16] | 91.0411<br>[ 0.0000] | 485.6269<br>[ 0.0000]   |
| Lag 2   | 8.4021<br>[ 0.2100] | 57.1803<br>[ 1.68E-10] | 7.5046<br>[ 0.2766]    | 26.6236<br>[ 0.0001]  | 2.3072<br>[ 0.8893]    | 7.0355<br>[ 0.3175]  | 113.5009<br>[ 5.89E-10] |
| Lag 3   | 10.004<br>[ 0.1244] | 13.1206<br>[ 0.0411]   | 6.4189<br>[ 0.3779]    | 5.0124<br>[ 0.5422]   | 3.2701<br>[ 0.7742]    | 14.9689<br>[ 0.0205] | 47.1741<br>[ 0.1006]    |
| Lag 4   | 3.1222<br>[ 0.7933] | 3.3973<br>[ 0.7575]    | 8.2222<br>[ 0.2222]    | 3.7845<br>[ 0.7058]   | 3.2941<br>[ 0.7711]    | 8.7981<br>[ 0.1852]  | 30.2860<br>[ 0.7366]    |
| Lag 5   | 5.3836<br>[ 0.4956] | 5.0829<br>[ 0.5332]    | 18.3234<br>[ 0.0054]   | 8.6602<br>[ 0.1936]   | 3.3438<br>[ 0.7646]    | 13.9619<br>[ 0.0300] | 54.7374<br>[ 0.0234]    |
| Lag 6   | 5.4834<br>[ 0.4834] | 22.5025<br>[ 0.0009]   | 29.7217<br>[ 4.44E-05] | 4.5778<br>[ 0.5989]   | 6.2909<br>[ 0.3913]    | 17.7558<br>[ 0.0068] | 94.5646<br>[ 3.72E-07]  |
| df  | 6                   | 6                      | 6                      | 6                     | 6                      | 6                    | 36                      |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En esta prueba se analiza si los retardos tienen algún efecto significativo o no (en forma individual o conjunta) sobre el sistema del VAR. Cada fila de la Tabla 5.3 reporta la contribución de los retardos de cada ecuación.

| Hipótesis  | Estadístico                 | Decisión   |
|--|-----------------------------|--|
| $H_0$ : Los coeficientes de los retardos son conjuntamente no significativas diferentes de cero. | W estadístico (chi) de Wald | Rechace $H_0$ si la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Los coeficientes de los retardos son conjuntamente significativas diferentes de cero.    |                             | No rechace a $H_1$ si la probabilidad es mayor que 0.05  |

En el caso de la fila 1 y 2 se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$  ya que los retardos contribuyen en general significativamente de forma individual. En las filas 3 y 4 se acepta  $H_0$  y en las 5 y 6

se rechaza  $H_0$ , sin embargo dados los ensayos realizados sobre el VAR se decidió que el número de retardos más conveniente fuera de dos.

### **Diagnóstico de los residuos del VAR estimado**

Los resultados del modelo VAR obtenido se presentan en el Anexo D, no es fundamental presentarlos en esta sección ya que los coeficientes no se pueden interpretar en relación con la teoría económica, no obstante se requiere aplicar las pruebas de diagnóstico de los residuos, las cuales por su extensión se presentan en el anexo E.

### **Conclusión general del diagnóstico del VAR y la prueba de los residuos:**

- La longitud del VAR de acuerdo a las pruebas realizadas y a criterio del investigador resulto ser de 2 retardos.
- El análisis de los residuos del modelo VAR concluye que estos no cumplen con los supuestos del teorema de Gauss Markov (ausencia de autocorrelación, normalidad y homocedasticidad) por lo tanto los estimadores del vector de cointegración no podrán ser considerados MELI (Mejor Estimador Lineal Inssegado). No obstante como se verá más adelante, el ajuste que presenta la estimación realizada con los estimadores de cointegración obtenidos describe de manera muy similar el comportamiento de la serie de tiempo consumo eléctrico residencial en el Estado de México, (ver figura 5.3 y 5.4), por otra parte cabe señalar que en en este estudio no se tiene como objetivo la mayor exactitud posible en la predicción, el interés se centra en encontrar una relación de cointegración (corto y largo plazo) congruente con la teoría del consumidor dentro del conjunto de variables elegidas como determinantes de la demanda residencial de energía eléctrica.

### 5.3 Pruebas de cointegración de Johansen y elasticidades de la demanda de largo plazo

Como se ha descrito en la sección 2.7.3, la metodología de Johansen considera la prueba de la traza y la prueba del máximo valor propio para determinar el número de vector de cointegración, una vez obtenidos estos se escoge aquel que sea más congruente con la teoría económica de la demanda, a continuación se presentan el desarrollo de estas pruebas.

La Tabla 5.5 presenta diversas opciones de ecuaciones de cointegración posibles, sin embargo solo dos de estas presentan el mismo número de ecuaciones tanto en la prueba de traza como de eigenvalor, en este estudio se utilizó por conveniencia respecto a la teoría económica la opción número 2, es decir solo intercepto en la ecuación de cointegración y no tendencia en el VAR (intercept – no trend).

**Tabla 5.5 Resumen de supuestos**

| Series: LQ LY LPE LU LPG LPA Lags  |              |           | interval: 1 to 2 |           |           |
|--|--------------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| Data Trend:  | None         | None      | Linear           | Linear    | Quadratic |
| Rank or  | No Intercept | Intercept | Intercept        | Intercept | Intercept |
| No. of Ces   | No Trend     | No Trend  | No Trend         | Trend     | Trend     |
| Selected (5% level) Number of Cointegrating Relations by Model (columns) |              |           |                  |           |           |
| Trace  | 4            | 4         | 3                | 4         | 6         |
| Max-Eig  | 4            | 4         | 3                | 3         | 3         |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

### Pruebas de cointegración de Johansen en extenso ver anexo F

El primer bloque de la Tabla 5.6 de los resultados muestra el estadístico de la traza. La primera columna de dicho bloque muestra el número de relaciones de cointegración bajo la hipótesis nula, la segunda columna muestra el rango ordenado de los eigenvalores de la matriz, la tercera muestra el estadístico de la traza y el cuarto y quinto los valores críticos al 5% y 1%.

**Tabla 5.6 Prueba de Traza**

Included observations: 144 after adjusting endpoints  
 Trend assumption: No deterministic trend (restricted constant)  
 Series: LQ LY LPE LU LPG LPA  
 Lags interval (in first differences): 1 to 2  
 Unrestricted Cointegration Rank Test

| Hypothesized No. of CE(s) | Eigenvalue | Trace Statistic | 5 Percent Critical Value | 1 Percent Critical Value |
|---------------------------|------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| None **                   | 0.376096   | 207.8373        | 102.14                   | 111.01                   |
| At most 1 **              | 0.335619   | 139.9041        | 76.07                    | 84.45                    |
| At most 2 **              | 0.249367   | 81.02262        | 53.12                    | 60.16                    |
| At most 3 *               | 0.155302   | 39.71790        | 34.91                    | 41.07                    |
| At most 4                 | 0.081512   | 15.41409        | 19.96                    | 24.60                    |
| At most 5                 | 0.021776   | 3.170353        | 9.24                     | 12.97                    |

\* (\*\*) Indica el rechazo de la hipótesis nula a un nivel de confiabilidad del 5% y 1%  
 La prueba de Traza indica 4 vectores de cointegración al 5% de confiabilidad  
 La prueba de Traza indica 3 vectores de cointegración al 1% de confiabilidad

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

| Hipótesis   | Estadístico | Decisión  |
|---|-------------|---|
| Ninguno<br>$H_0$ : $r=0$ No existen vectores de cointegración<br>$H_1$ : $r=1$ Existe un vector de cointegración                            | Traza       | Rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico de la traza sea mayor que el valor crítico seleccionado, normalmente al 5%    |
| Cuando más uno<br>$H_0$ : $r \leq 1$ Cuando más existe un vector de cointegración<br>$H_1$ : $r=2$ Existe más de un vector de cointegración |             | No rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico de la traza sea menor que el valor crítico seleccionado, normalmente al 5% |

De acuerdo al primer juego de hipótesis sobre la existencia de vectores de cointegración, se rechaza  $H_0$  debido a que el valor de estadístico de traza  $207.8773 > 102.14$  (valor crítico al 5%), es decir existe al menos un vector de cointegración.

De acuerdo al segundo juego de hipótesis sobre la existencia de al menos un vector de cointegración, se rechaza  $H_0$  debido a que el valor de estadístico de traza  $139.9041 > 76.07$  (valor crítico al 5%), es decir existe más de un vector de cointegración. En relación a lo anterior la prueba de Traza de la Tabla 5.6 indica cuatro vectores de cointegración al 5% de confiabilidad y tres vectores al 1% de confiabilidad, no obstante solo uno de estos es congruente con la teoría de la demanda.

**Tabla 5.7 Prueba de Eigenvalor Máximo**

| Hypothesized No. of CE(s) | Eigenvalue | Max-Eigen Statistic | 5 Percent Critical Value | 1 Percent Critical Value |
|---------------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| None **                   | 0.376096   | 67.93316            | 40.30                    | 46.82                    |
| At most 1 **              | 0.335619   | 58.88152            | 34.40                    | 39.79                    |
| At most 2 **              | 0.249367   | 41.30472            | 28.14                    | 33.24                    |
| At most 3 *               | 0.155302   | 24.30381            | 22.00                    | 26.81                    |
| At most 4                 | 0.081512   | 12.24374            | 15.67                    | 20.20                    |
| At most 5                 | 0.021776   | 3.170353            | 9.24                     | 12.97                    |

\* (\*\*) Indica el rechazo de la hipótesis nula a un nivel de confiabilidad del 5% y 1%  
 La prueba de Máximo Eigenvalor indica 4 vectores de cointegración al 5% de confiabilidad  
 La prueba de Máximo Eigenvalor indica 3 vectores de cointegración al 1% de confiabilidad

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

La prueba de máximo eigenvalor prueba la hipótesis nula de que el rango de cointegración es igual a  $r=0$  en contra de que la hipótesis alternativa de que el rango de cointegración es igual a  $r+1$ , es decir:

| Hipótesis  | Estadístico      | Decisión  |
|--|------------------|---|
| Ninguno  |                  | Rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico del máximo eigenvalor propio sea mayor que el valor crítico seleccionado, normalmente al 5% |
| $H_0$ : $r=0$ No existen vectores de cointegración |                  |   |
| $H_1$ : $r=1$ Existe un vector de cointegración    | Max - Eigenvalor |   |

|   |  |
|---|--|
| Cuando más uno<br>$H_0$ : $r \leq 1$ Cuando más existe un vectores de cointegración | No rechace $H_0$ cuando el valor del estadístico del máximo eigenvalor propio sea menor que el valor crítico seleccionado, normalmente al 5% |
| $H_1$ : $r=2$ Existen más de un vector de cointegración                             |  |

De acuerdo con el primer juego de hipótesis sobre la existencia de vectores de cointegración, se rechaza  $H_0$  debido a que el valor de estadístico de Máximo Eigenvalor  $67.93316 > 40.30$  (valor crítico al 5%) es decir el rango de cointegración es  $r = 1$ .

De acuerdo con el segundo juego de hipótesis sobre la existencia de al menos un vector de cointegración, se rechaza  $H_0$  que el valor del estadístico de Máximo Eigenvalor  $58.88152 > 34.40$  (valor crítico al 5%), es decir el rango de cointegración es igual a  $r+2$ . En relación a lo anterior la prueba de Máximo Eigenvalor de la Tabla 5.7 indica cuatro vectores de cointegración al 5% de confiabilidad y tres vectores al 1% de confiabilidad, no obstante solo uno de estos es congruente con la teoría de la demanda.

A partir de los resultados de la prueba de Traza y de Máximo Eigenvalor, se concluyó que existe más de una relación de cointegración en el conjunto de las series de tiempo que se incluyeron en el modelo. Posteriormente todos los vectores encontrados fueron normalizados y se eligió el vector que presento un mejor ajuste a la teoría de la demanda, el cual se muestra en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8 Vector de cointegración normalizado**

| LQ       | LPE       | LY        | LU        | LPG       | LPA       | C         |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.000000 | 0.163280  | -0.670097 | -0.498065 | -0.127838 | 0.485432  | -0.812549 |
|          | (0.04545) | (0.21518) | (0.09443) | (0.11425) | (0.16543) | (2.59597) |

(Error estándar en parentesis)

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

De acuerdo a Johansen (1988) la normalización consiste en convertir un vector dado en otro proporcional a él con módulo uno, esto se obtiene dividiendo el módulo entre él mismo, además de que es tradicional en la literatura de la cointegración multiplicar el vector normalizado por -1 y reordenen los términos de tal manera que el vector se interprete como una función de demanda.

El vector de cointegración obtenido en EViews (Tabla 5.8) es interpretado como la función de largo plazo de la demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México como se muestra a continuación:

$$\ln Q_t = 0.8125 - 0.1632 \ln P_{e_t} + 0.6700 \ln Y_t + 0.4980 \ln U_t + 0.1278 \ln P_{g_t} - 0.4854 \ln P_{a_t}$$

Las magnitudes y signos de los coeficientes de la función anterior resultaron ser congruentes con la teoría de la demanda como lo muestra la Tabla 5.9.

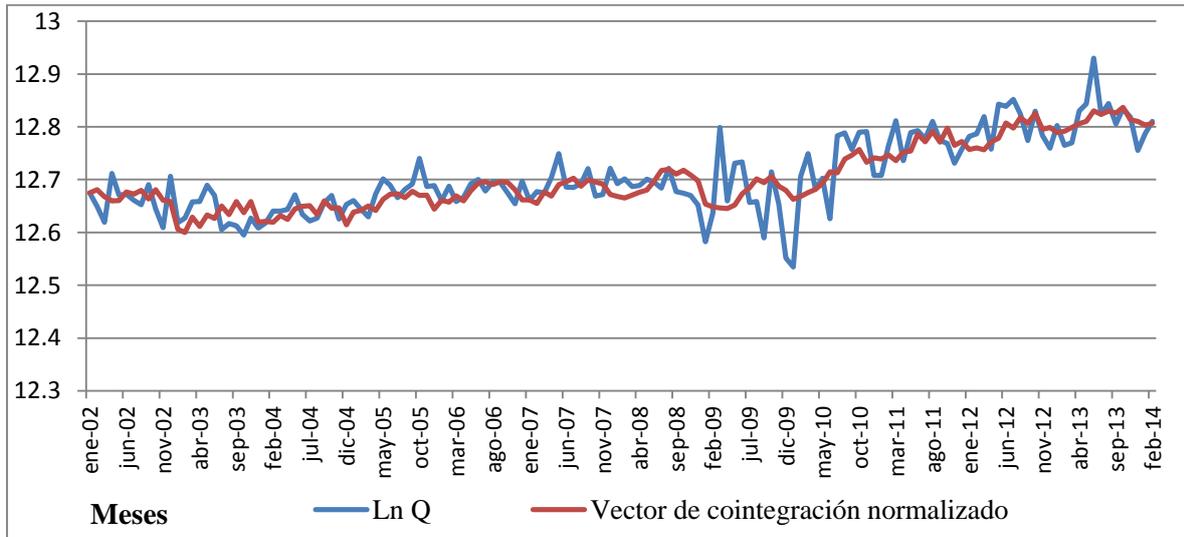
**Tabla 5.9 Clasificación de elasticidades de largo plazo obtenidas**

| <b>Elasticidades</b>         | <b>Coefficientes</b> | <b>Tipo</b>                |
|------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Precio de la electricidad    | - 0.1632             | Inelástica<br>< 1          |
| Ingreso de la población      | 0.6700               | Bien normal<br>< 1         |
| Cruzada gas L.P              | 0.1278               | Bien sustituto<br>(+)      |
| Cruzada agua                 | -0.4854              | Bien complementario<br>(-) |
| Número usuarios del servicio | 0.4980               | (+)                        |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

Como un elemento adicional al análisis, en la Figura 5.3 se graficaron los valores históricos del consumo residencial y los valores predichos por el vector de cointegración normalizado (función de demanda) estos presentaron un buen ajuste como se puede observar.

**Figura 5.2 Consumo residencial de energía eléctrica en el Estado de México y vector de cointegración normalizado**



Fuente: Diseño propio con datos de SIE y resultados de Eviews

#### 5.4 Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC) y elasticidades de la demanda de corto plazo

Los coeficientes de los estimadores del modelo de corrección de errores de la Tabla 5.10 pueden ser interpretados como las elasticidades de corto plazo de la demanda de energía eléctrica. Los resultados del modelo VEC en extenso se presentan en el anexo G.

**Tabla 5.10 Modelo vector de corrección de errores normalizado**

| <b>Cointegrating Eq:</b> | <b>CointEq1</b>                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| LQ(-1)                   | 1.000000                             |
| LPE(-1)                  | 0.150000<br>(0.04540)<br>[ 3.30429]  |
| LY(-1)                   | -0.663778<br>(0.21492)<br>[-3.08856] |
| LU(-1)                   | -0.504765<br>(0.09432)<br>[-5.35179] |
| LPG(-1)                  | -0.120697<br>(0.11411)<br>[-1.05771] |
| LPA(-1)                  | 0.490878<br>(0.16522)<br>[ 2.97100]  |
| C                        | -0.742465                            |

Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

El vector de corrección de errores normalizado de la Tabla 5.10, es interpretado como la función de corto plazo de la demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México como se muestra a continuación:

$$LQ(-1) = 0.742465 - 0.15LPE(-1) + 0.663778LY(-1) + 0.504765LU(-1) + 0.120697LPG(-1) - 0.490878LPA(-1)$$

Las magnitudes y signos de los coeficientes de la función anterior resultaron ser congruentes con la teoría de la demanda como lo muestra la Tabla 5.11.

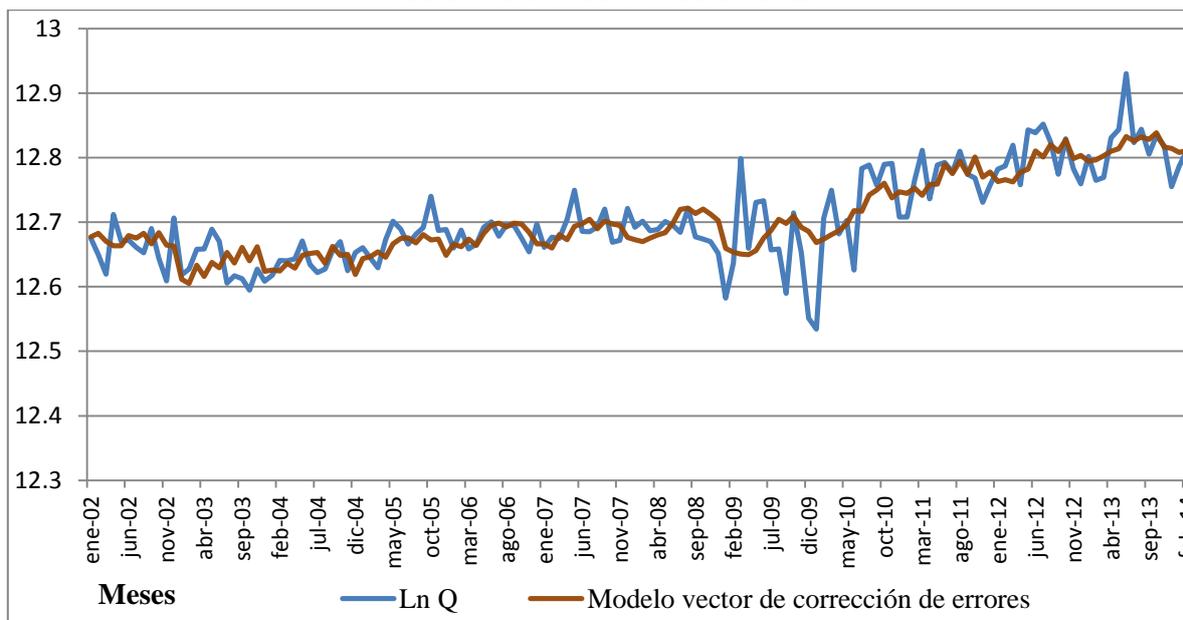
**Tabla 5.11 Clasificación de elasticidades de corto plazo obtenidas**

| Elasticidades                | Coefficientes | Tipo                       |
|------------------------------|---------------|----------------------------|
| Precio de la electricidad    | -0.15         | Inelástica<br>< 1          |
| Ingreso de la población      | 0.663778      | Bien normal<br>< 1         |
| Cruzada gas L.P              | 0.120697      | Bien sustituto<br>(+)      |
| Cruzada agua                 | -0.490878     | Bien complementario<br>(-) |
| Número usuarios del servicio | 0.504765      | (+)                        |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En la Figura 5.4 se graficaron los valores históricos del consumo residencial y los valores predichos por el vector de corrección de errores normalizado (función de demanda de corto plazo) estos presentaron un ajuste levemente mayor que la función de demanda de largo plazo, debido precisamente a la corrección de los errores, no obstante en este estudio no existió una diferencia notable entre ambas funciones de la demanda.

**Figura 5.3 Consumo residencial de energía eléctrica en el Estado de México y modelo vector de corrección de errores**



Fuente: Diseño propio con datos de SIE y resultados de Eviews

## 5.5 Discusión de resultados

Las magnitudes de las elasticidades de la demanda residencial de energía eléctrica que han sido estimadas en este estudio, han sido comparadas con las reportadas en cinco estudios similares realizados en México como se muestra en la Tabla 5.12, cabe señalar que los estudios realizados en el país son muy escasos y no existe en particular un antecedente llevado a cabo en el Estado de México con el cual se pudiera realizar una adecuada comparación de los resultados obtenidos.

En este estudio se encontraron cinco vectores de cointegración, sin embargo solo uno de estos es congruente con la teoría del consumidor, los coeficientes de dicho vector se interpretaron como las elasticidades de la demanda de largo plazo y mediante la estimación de un modelo de corrección de errores se obtuvieron los coeficientes que se interpretaron como las elasticidades de corto plazo.

**Tabla 5.12 Discusión de elasticidades de la demanda de energía eléctrica calculadas para el Estado de México**

| Elasticidad        | Investigaciones realizadas en México |                           |                           |                          |                            |                              |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                    | Ortiz (2014)/ Edo. de México         | Morales (2012)/ Monterrey | Guzmán, (2011)/ Querétaro | Berglind(2004)/ Nacional | Caballero (2009)/ Nacional | Gómez (2012)/ Edo. de México |
| <b>Corto plazo</b> |                                      |                           |                           |                          |                            |                              |
| Ingreso            | 0.66                                 | -0.27                     | 0.43                      |                          |                            |                              |
| Precio             | -0.15                                | -0.16                     | -0.69                     |                          |                            |                              |
| Población          | 0.504                                | 0.304                     |                           |                          |                            |                              |
| Agua               | -0.490                               |                           |                           |                          |                            |                              |
| Gas L.P            | 0.120                                | -0.10                     |                           |                          |                            |                              |
| <b>Largo plazo</b> |                                      |                           |                           |                          |                            |                              |
| Ingreso            | 0.67                                 | 0.88                      | 1.40                      | 0.55                     | 0.60                       |                              |
| Precio             | -0.16                                | -0.63                     | -2.26                     | -0.018                   | -0.19                      | -0.055                       |
| Población          | 0.498                                | 0.618                     |                           |                          |                            |                              |
| Agua               | -0.485                               |                           |                           |                          |                            | -0.43                        |
| Gas L.P            | 0.1278                               | -0.080                    |                           |                          |                            |                              |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews y los reportados de investigaciones consultadas

Como puede apreciarse en la Tabla 5.12, la elasticidad precio de la demanda en el corto y largo plazo resulto ser inelástica en ambos casos con -0.15% y -0.16% respectivamente, lo que indica un servicio público de primera necesidad, las magnitudes de las elasticidades estimadas en términos absolutos son menores a las reportadas por Morales (2012), Guzmán (2011) y Caballero (2009) lo que indica una menor sensibilidad al precio a través del tiempo en el Estado de México. Por otra parte en el largo plazo las elasticidades precio reportadas por Berglind (2004) y Gómez (2012) son menores a las calculadas en este estudio ya que éstas tienen un nivel de inelasticidad muy bajo, cercano a cero probablemente debido a la metodología utilizada y a las características propias de la demanda eléctrica que estudiaron.

La elasticidad ingreso de la demanda en el corto y largo plazo resulto ser positiva y menor que uno en ambos casos con 0.66% y 0.67% respectivamente, por lo tanto se trata de un servicio normal, las magnitudes de las elasticidades estimadas son mayores en el corto plazo que las estimadas por Morales (2012) y Guzmán (2011), lo que indica que en el Estado de México la demanda de electricidad es más sensible a cambios inmediatos en el ingreso de la población, esto se debe a diferencias en el ingreso de las distintas zonas geográficas en que fueron realizados los estudios. Por otra parte en el largo plazo la elasticidad ingreso calculada resulta ser menor que la reportada por Morales (2012) y Guzmán (2011) y a su vez muy similares a las estimadas por Berglind (2004) y Caballero (2009), los cuales son estudios de la demanda de energía eléctrica a nivel nacional, esta situación podría explicarse debido a que la dinámica del ingreso en el Estado de México es similar a la dinámica del ingreso en el país, lo cual se ve reflejado en este tipo de elasticidad.

En el caso de la elasticidad de la demanda respecto a la población, ésta resulta ser mayor en el corto plazo y menor en el largo plazo respecto a la reportada por Morales (2012), esto se debe a la tendencia al alza de nuevos usuarios en el Estado de Monterrey a diferencia del Estado de México, los resultados obtenidos indican que un incremento porcentual en el número de usuarios aumentaría en 0.504% el consumo de electricidad en el corto plazo, en tanto que en el largo plazo aumentaría en 0.498% por lo tanto el cambio prácticamente se mantendría constante.

Finalmente en el caso de las elasticidades cruzadas, los resultados indican que el servicio público del agua es un servicio complementario al servicio eléctrico residencial en el corto y

largo plazo con -0.490% y -0.485%, éste último resultado es similar en magnitud al reportado por Gómez (2012). Por su parte en cuanto al gas L.P este resultado ser un bien sustituto con 0.120% y 0.127% en el corto y largo plazo respectivamente, situación que contrasta con lo obtenido por Morales (2012) en donde esta elasticidad resulta ser de signo negativo en ambos horizontes de tiempo, esto puede deberse entre otras cosas a la técnica de cointegración utilizada.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

---

1. En este estudio se encontró que la demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México es inelástica respecto a su precio en el corto y largo plazo, por lo tanto una disminución paulatina en el precio medio a través del tiempo tendría poco efecto sobre su demanda, sin embargo esta situación permitiría una mejoría en el acceso y pago de este servicio para una mayor parte de la población en condiciones de escasos recursos.
2. Se encontró que la elasticidad ingreso de la demanda residencial de energía eléctrica en el Estado de México es un bien normal en el corto y largo plazo, por lo tanto si la población mantiene constante su ingreso y si el precio medio del servicio eléctrico disminuye, es posible que en el largo plazo la elasticidad ingreso clasifique al servicio eléctrico residencial como un bien inferior.
3. Los beneficios que pretende obtener la actual reforma energética respecto a una disminución en el precio medio del servicio eléctrico, tendrán un mayor efecto positivo en la medida que servicios y bienes relacionados en el sector residencial como el servicio agua (complementario) y el gas L.P (sustituto) mantengan un precio relativamente constante a través del tiempo, dado que una posible disminución en el precio de un servicio y el aumento de otro simultáneamente, terminarían neutralizando cualquier posible beneficio hacia la población en el caso del Estado de México.

# REFERENCIAS

---

- Benavente, J. M., Galetovic , A., Sanhueza, R., & Serra, P. (2005). Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: El consumo es sensible al precio. Cuadernos Economía, 42(125), 31 - 61.
- Caballero-Guendolain , K., & Galindo Paliza, L. M. (2009). El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. Problemas del desarrollo, 38(148), 127 - 151.
- Castro, F. (2000). La demanda de electricidad de largo plazo. Principales determinantes en un marco regulado y repercusiones del proceso de liberalización. Información Comercial Española Revista de Economía, 783(0), 119 - 132.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. (2013). Tarifas Eléctricas en México. Obtenido de: [http://www3.diputados.gob.mx/camara/content/download/301033/999024/file/Contexto-No.31-tarifas\\_electricas.pdf](http://www3.diputados.gob.mx/camara/content/download/301033/999024/file/Contexto-No.31-tarifas_electricas.pdf)
- CONEVAL. (2013). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Obtenido de: [http://www.coneval.gob.mx/Informes/Coordinacion/Pobreza\\_2012/RESUMEN\\_EJECUTIVO\\_MEDICION\\_POBREZA\\_2012\\_Parte1.pdf](http://www.coneval.gob.mx/Informes/Coordinacion/Pobreza_2012/RESUMEN_EJECUTIVO_MEDICION_POBREZA_2012_Parte1.pdf)
- Del Rosal-Fernandez, I. (1999). Análisis de la demanda agregada de electricidad en España con series temporales: un tratamiento de cointegración . Anales de economía y administración de empresas , 7 - 22.
- Dergiades, T. and Tsoulfidis, L. (2008). Estimating residential demand for US. *Energy Economics*. 30: 2722-2730.
- Donnelly , W. A., & Diesendorf , M. (1985). Variable elasticity models for electricity demand. Original Research Article Energy Economics, 7 (3), 159 - 162.
- Elizondo, R. (2012). Estimaciones del PIB Mensual Basadas en el IGAE. Working Papers, Banco de México(2012 - 11).
- Engle, R.F. y Granger, C.W.J (1987)"Co-integración and Error Correction: Representation, Estimation and Testing" *Econometrica*,55,pp. 251-276

- Espey, J. A., & Espey, M. (2004). Turning on the lights: A meta - analysis of residential electricity demand elasticities . *Journal of Agricultural and Applied Economics* , 36(1), 65 - 82.
- Espinoza Acuña , Ó. A., Vaca Gonzáles , P. A., & Avila Forero, R. A. (2013). Elasticidades de demanda por electricidad e impactos macroeconómicos del precio de la energía eléctrica en Colombia. *Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 16(1), 216 - 249.
- Fernández Villadangos, L. (2006). La demanda residencial de electricidad en España: un análisis microeconómico de la demanda eléctrica residencial de corto plazo en España. Universidad de Vigo, Facultad de Economía.
- Galindo, L. M., & Sánchez , L. (2005). El consumo de energía y la economía mexicana: un análisis empírico con VAR. *Economía Mexicana. Nueva Época*(segundo semestre ) , 271 - 298.
- García Salazar, J. A., & Mora Flores , J. S. (2008). Tarifas y consumo de agua en el sector residencial de la Comarca Lagunera. *Región y Sociedad*(Mayo - Agosto ) , 119 - 132.
- García, M. R. (2003). Teoría del mercado de productos agrícolas . México : Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- Gaudencio , R. N., & Raúl , F. E. (1999). Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica . *Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas* , 23(1).
- Gobierno de la República. (2013). Obtenido de Secretaria de relaciones exteriores: <http://embamex.sre.gob.mx/suecia/images/reforma%20energetica.pdf>
- Gómez - Ugalde , S. G., Mora Flores, J. S., García Salazar, J. A., & Valdivia Alcalá, R. (2012). Demanda de agua para uso residencial y comercial. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 337 - 342.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (Quinta ed.). McGRAW HILL.
- Guzman Soria , E., Rodríguez Magaña , J. R., Hernández Martínez , J., & Rebollar Rebollar, S. (2011). Consumo de energía eléctrica para uso doméstico en San Juan del Río, Querétaro . *Análisis Económico* , 26(61), 139 - 151.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of economic dynamics and control*, 12(2), 231-254.
- Leiva Sandoval , C. (2009). Las elasticidades de la energía comercial en Costa Rica. San José: Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

- Mata, H. L. (2004). Nociones Elementales de Cointegración Enfoque de Soren Johansen . Recuperado el 2013, de webdelprofesor: <http://www.webdelprofesor.ula.ve/economia/hmata/Notas/Johansen.pdf>
- Morales Ramírez , D., Luyando Cuevas , J. R., & Flores Curiel , D. (Enero - Junio de 2012). Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México. *Universidad & empresa*(22), 79 - 98.
- Neeland, H., & Student, U. (2009). The Residential Demand for Electricity in the United States. *Economic Analysis and Policy*, 29(2), 193 - 203.
- Pareesh Kumar, N., Russel, S., & Arti, P. (2007). Electricity consumption in G7 countries: A panel cointegration analysis of residential demand elasticities. *Energy Policy*, 35(9 ), 4485 - 4494.
- Phillips , P. C., & Perron , P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335 - 346.
- Pinaya, E., Gerónomino , A., & Macedo, R. (2012). Elaboración de un modelo de cointegración para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica para el Sistema Interconectado Nacional de Bolivia.
- Prospectiva del Sector Eléctrico. (2013). Obtenido de Secretaria de Energía: [http://sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Electrico\\_2013-2027.pdf](http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf)
- Saenz De Miera Berglind, O. F. (2004). Estimación de elasticidades precio e ingreso de la demanda por energía eléctrica en México. Universidad de las Américas Puebla Escuela de Ciencias Sociales .
- Silk, J. I., & Joutz , F. L. (1997). Short and long - run elasticities in US residential electricity demand: a co - integration approach. *Energy Economics*, 19(4), 493 - 513.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* , 1 - 48 .
- Sistema de Información Energética. (2013). Recuperado el 2013, de SIE: <http://sie.energia.gob.mx/>
- Varian, H. R. (2010). *Microeconomía Intermedia. Un enfoque actual* (Octava ed.). Antoni Bosch.
- Zamora Maqueda, M. R., & Viveros Sánchez, L. A. (2011). Curvas de demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México. *Boletín IIE* , 35(4), 172.

# ANEXOS

## Anexo A. Datos y estadísticas descriptivas

Tabla A.1 Series de tiempo

| N° observación | Meses    | Qt        | Yt      | Pe t   | Pa t  | Pg t | U t        |
|----------------|----------|-----------|---------|--------|-------|------|------------|
| 1              | Ene/2002 | 319690.92 | 9227.35 | 72.16  | 9.73  | 7.29 | 2297786.61 |
| 2              | Feb/2002 | 311599.89 | 9248.31 | 70.49  | 9.73  | 7.31 | 2298873.12 |
| 3              | Mar/2002 | 302400.38 | 9201.15 | 74.62  | 9.75  | 7.34 | 2299234.40 |
| 4              | Abr/2002 | 331680.46 | 9258.80 | 81.58  | 9.75  | 7.37 | 2308921.77 |
| 5              | May/2002 | 318259.97 | 9190.65 | 79.66  | 9.74  | 7.39 | 2308363.02 |
| 6              | Jun/2002 | 318831.05 | 9269.32 | 75.38  | 9.74  | 7.42 | 2314690.80 |
| 7              | Jul/2002 | 315297.47 | 9180.11 | 75.90  | 9.70  | 7.45 | 2320259.71 |
| 8              | Ago/2002 | 312552.86 | 9279.88 | 76.59  | 9.70  | 7.48 | 2325967.64 |
| 9              | Sep/2002 | 324586.58 | 9169.53 | 78.81  | 9.74  | 7.50 | 2314722.68 |
| 10             | Oct/2002 | 310038.39 | 9290.47 | 76.97  | 9.74  | 7.53 | 2335931.29 |
| 11             | Nov/2002 | 299299.60 | 9158.92 | 80.29  | 9.84  | 7.56 | 2340117.05 |
| 12             | Dic/2002 | 329913.29 | 9301.09 | 87.52  | 9.84  | 7.58 | 2344853.59 |
| 13             | Ene/2003 | 302156.03 | 9086.81 | 93.78  | 10.39 | 7.61 | 2346915.92 |
| 14             | Feb/2003 | 304727.65 | 8955.56 | 92.80  | 10.39 | 7.64 | 2353397.78 |
| 15             | Mar/2003 | 314347.49 | 9223.41 | 89.40  | 10.35 | 7.67 | 2356998.22 |
| 16             | Abr/2003 | 314395.16 | 8944.86 | 88.52  | 10.35 | 7.70 | 2362720.32 |
| 17             | May/2003 | 324249.87 | 9234.13 | 88.02  | 10.38 | 7.72 | 2365350.26 |
| 18             | Jun/2003 | 318153.89 | 8934.12 | 81.22  | 10.38 | 7.75 | 2371556.73 |
| 19             | Jul/2003 | 298218.59 | 9244.88 | 79.64  | 10.45 | 7.78 | 2373633.22 |
| 20             | Ago/2003 | 301659.32 | 8923.35 | 78.95  | 10.45 | 7.81 | 2398420.14 |
| 21             | Sep/2003 | 300282.03 | 9255.67 | 78.79  | 10.38 | 7.84 | 2379235.78 |
| 22             | Oct/2003 | 295068.88 | 8912.54 | 77.14  | 10.38 | 7.87 | 2382866.33 |
| 23             | Nov/2003 | 304733.40 | 9266.50 | 83.29  | 10.22 | 7.89 | 2382835.34 |
| 24             | Dic/2003 | 299121.89 | 8901.69 | 90.91  | 10.22 | 7.92 | 2387282.32 |
| 25             | Ene/2004 | 301961.84 | 9430.82 | 98.10  | 10.75 | 7.95 | 2384275.16 |
| 26             | Feb/2004 | 308847.80 | 9349.49 | 96.69  | 10.75 | 7.98 | 2390192.07 |
| 27             | Mar/2004 | 308730.99 | 9517.60 | 94.04  | 10.85 | 8.01 | 2391103.25 |
| 28             | Abr/2004 | 309722.90 | 9338.57 | 91.44  | 10.85 | 8.04 | 2394798.44 |
| 29             | May/2004 | 318369.04 | 9528.54 | 89.34  | 10.81 | 8.07 | 2396874.94 |
| 30             | Jun/2004 | 306992.28 | 9327.62 | 80.35  | 10.81 | 8.10 | 2402365.04 |
| 31             | Jul/2004 | 303084.79 | 9539.51 | 81.79  | 11.06 | 8.13 | 2403227.52 |
| 32             | Ago/2004 | 304759.85 | 9316.63 | 83.02  | 11.06 | 8.16 | 2406360.42 |
| 33             | Sep/2004 | 313679.06 | 9550.52 | 83.80  | 10.83 | 8.19 | 2406195.72 |
| 34             | Oct/2004 | 318095.23 | 9305.60 | 82.48  | 10.83 | 8.22 | 2408047.30 |
| 35             | Nov/2004 | 304103.90 | 9561.57 | 88.69  | 10.96 | 8.25 | 2408498.90 |
| 36             | Dic/2004 | 312671.92 | 9294.53 | 97.04  | 10.96 | 8.28 | 2412522.61 |
| 37             | Ene/2005 | 315014.67 | 9769.37 | 104.12 | 10.93 | 8.31 | 2413184.08 |

---

|    |          |           |          |        |       |       |            |
|----|----------|-----------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 38 | Feb/2005 | 309914.84 | 9734.82  | 102.27 | 10.93 | 8.34  | 2424344.92 |
| 39 | Mar/2005 | 305453.49 | 9809.48  | 97.02  | 11.13 | 8.37  | 2438891.03 |
| 40 | Abr/2005 | 319013.01 | 9723.68  | 97.64  | 11.13 | 8.40  | 2429459.57 |
| 41 | May/2005 | 328255.20 | 9820.64  | 92.32  | 11.04 | 8.43  | 2435155.11 |
| 42 | Jun/2005 | 324191.46 | 9712.50  | 83.53  | 11.04 | 8.46  | 2436526.75 |
| 43 | Jul/2005 | 316786.58 | 9831.84  | 85.81  | 11.11 | 8.49  | 2434226.22 |
| 44 | Ago/2005 | 321717.93 | 9701.28  | 85.50  | 11.11 | 8.52  | 2435930.81 |
| 45 | Sep/2005 | 325108.99 | 9843.08  | 86.93  | 10.99 | 8.55  | 2434692.88 |
| 46 | Oct/2005 | 341203.95 | 9690.03  | 86.13  | 10.99 | 8.58  | 2436617.95 |
| 47 | Nov/2005 | 323553.24 | 9854.36  | 91.53  | 11.08 | 8.82  | 2435795.32 |
| 48 | Dic/2005 | 324014.00 | 9678.73  | 100.80 | 11.08 | 8.95  | 2434067.71 |
| 49 | Ene/2006 | 314995.70 | 10314.45 | 108.30 | 11.41 | 8.98  | 2432758.06 |
| 50 | Feb/2006 | 323704.24 | 10234.73 | 107.62 | 11.41 | 9.01  | 2431992.10 |
| 51 | Mar/2006 | 314508.48 | 10388.49 | 104.96 | 11.47 | 9.04  | 2433346.03 |
| 52 | Abr/2006 | 316851.23 | 10246.10 | 105.49 | 11.47 | 9.06  | 2432965.27 |
| 53 | May/2006 | 325240.28 | 10377.10 | 100.87 | 11.38 | 9.08  | 2429427.69 |
| 54 | Jun/2006 | 327882.05 | 10257.51 | 89.37  | 11.38 | 9.12  | 2439438.27 |
| 55 | Jul/2006 | 320722.77 | 10365.67 | 90.71  | 11.43 | 9.15  | 2439570.21 |
| 56 | Ago/2006 | 326509.00 | 10268.95 | 91.25  | 11.43 | 9.18  | 2443341.55 |
| 57 | Sep/2006 | 326126.36 | 10354.21 | 92.55  | 11.38 | 9.21  | 2443732.95 |
| 58 | Oct/2006 | 319648.24 | 10280.44 | 90.76  | 11.38 | 9.25  | 2440881.64 |
| 59 | Nov/2006 | 313040.58 | 10342.70 | 99.33  | 11.45 | 9.29  | 2437324.58 |
| 60 | Dic/2006 | 326774.32 | 10291.97 | 109.97 | 11.45 | 9.31  | 2438262.33 |
| 61 | Ene/2007 | 315174.41 | 10638.00 | 115.35 | 11.82 | 9.35  | 2440747.93 |
| 62 | Feb/2007 | 320334.14 | 10519.23 | 114.81 | 11.82 | 9.38  | 2439989.05 |
| 63 | Mar/2007 | 319704.65 | 10750.97 | 109.58 | 11.88 | 9.40  | 2447893.91 |
| 64 | Abr/2007 | 329124.81 | 10530.83 | 106.30 | 11.88 | 9.44  | 2451250.84 |
| 65 | May/2007 | 344389.59 | 10739.35 | 100.26 | 11.90 | 9.47  | 2450339.66 |
| 66 | Jun/2007 | 323117.68 | 10542.48 | 90.64  | 11.90 | 9.49  | 2453894.06 |
| 67 | Jul/2007 | 322959.94 | 10727.69 | 92.64  | 12.05 | 9.86  | 2453531.00 |
| 68 | Ago/2007 | 325300.44 | 10554.16 | 94.05  | 12.05 | 9.54  | 2465703.97 |
| 69 | Sep/2007 | 334550.61 | 10715.98 | 95.30  | 12.01 | 9.57  | 2474879.52 |
| 70 | Oct/2007 | 317741.80 | 10565.88 | 93.61  | 12.01 | 9.57  | 2484950.31 |
| 71 | Nov/2007 | 318730.96 | 10704.24 | 104.85 | 11.88 | 9.57  | 2491345.40 |
| 72 | Dic/2007 | 334789.98 | 10577.64 | 113.43 | 11.88 | 9.57  | 2494925.47 |
| 73 | Ene/2008 | 325279.22 | 10824.28 | 118.12 | 12.23 | 9.61  | 2500502.35 |
| 74 | Feb/2008 | 328261.19 | 10713.63 | 116.90 | 12.23 | 9.65  | 2509143.06 |
| 75 | Mar/2008 | 323457.89 | 10719.55 | 113.66 | 12.26 | 9.67  | 2515853.38 |
| 76 | Abr/2008 | 324087.38 | 10725.47 | 111.77 | 12.26 | 9.70  | 2524456.01 |
| 77 | May/2008 | 328127.16 | 10731.41 | 105.93 | 12.40 | 9.74  | 2527979.42 |
| 78 | Jun/2008 | 326204.49 | 10737.35 | 97.42  | 12.40 | 9.80  | 2534341.73 |
| 79 | Jul/2008 | 322609.25 | 10743.31 | 97.54  | 12.06 | 9.86  | 2567428.44 |
| 80 | Ago/2008 | 334873.09 | 10749.28 | 98.42  | 12.06 | 9.93  | 2578547.66 |
| 81 | Sep/2008 | 320405.28 | 10755.25 | 100.23 | 12.29 | 10.03 | 2586967.00 |
| 82 | Oct/2008 | 319384.67 | 10761.24 | 97.82  | 12.29 | 10.13 | 2596143.43 |
| 83 | Nov/2008 | 318014.36 | 10767.23 | 109.14 | 12.16 | 10.25 | 2603100.81 |

---

|     |          |           |          |        |       |       |            |
|-----|----------|-----------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 84  | Dic/2008 | 312287.79 | 10773.24 | 118.62 | 12.16 | 10.36 | 2608045.44 |
| 85  | Ene/2009 | 291421.44 | 10728.99 | 123.85 | 12.61 | 9.33  | 2593215.09 |
| 86  | Feb/2009 | 307609.86 | 10721.76 | 116.53 | 12.61 | 9.33  | 2517603.13 |
| 87  | Mar/2009 | 361761.07 | 10730.19 | 112.77 | 12.81 | 9.34  | 2513615.72 |
| 88  | Abr/2009 | 314796.80 | 10733.84 | 112.07 | 12.81 | 9.34  | 2503118.12 |
| 89  | May/2009 | 338040.05 | 10718.08 | 107.13 | 12.74 | 9.29  | 2494803.27 |
| 90  | Jun/2009 | 338820.25 | 10745.97 | 96.14  | 12.74 | 9.28  | 2503852.20 |
| 91  | Jul/2009 | 313920.18 | 10705.94 | 97.01  | 12.78 | 9.29  | 2590762.25 |
| 92  | Ago/2009 | 314452.83 | 10758.13 | 100.18 | 12.78 | 9.29  | 2688899.56 |
| 93  | Sep/2009 | 293529.42 | 10693.75 | 102.45 | 12.78 | 9.29  | 2691703.05 |
| 94  | Oct/2009 | 332547.45 | 10770.34 | 98.05  | 12.78 | 9.28  | 2693045.47 |
| 95  | Nov/2009 | 312834.56 | 10681.52 | 109.07 | 12.72 | 9.28  | 2704533.06 |
| 96  | Dic/2009 | 282487.38 | 10782.59 | 119.12 | 12.72 | 9.28  | 2706038.41 |
| 97  | Ene/2010 | 277717.04 | 10908.20 | 126.07 | 13.35 | 9.42  | 2738015.59 |
| 98  | Feb/2010 | 329895.00 | 10942.38 | 124.78 | 13.40 | 9.48  | 2752421.79 |
| 99  | Mar/2010 | 344350.77 | 10924.17 | 120.38 | 13.45 | 9.54  | 2772315.43 |
| 100 | Abr/2010 | 321887.93 | 10989.85 | 119.16 | 13.50 | 9.60  | 2780221.17 |
| 101 | May/2010 | 328576.92 | 10950.74 | 110.70 | 13.55 | 9.68  | 2794717.70 |
| 102 | Jun/2010 | 304390.57 | 11037.47 | 102.55 | 13.60 | 9.69  | 2828413.63 |
| 103 | Jul/2010 | 356230.62 | 10977.40 | 104.87 | 13.66 | 9.74  | 2867070.13 |
| 104 | Ago/2010 | 358098.63 | 11085.25 | 103.69 | 13.71 | 9.90  | 2965133.94 |
| 105 | Sep/2010 | 346911.86 | 11004.15 | 105.60 | 13.76 | 10.11 | 3054495.94 |
| 106 | Oct/2010 | 358463.23 | 11133.20 | 102.96 | 13.81 | 10.18 | 3053936.31 |
| 107 | Nov/2010 | 359052.38 | 11031.00 | 116.10 | 13.86 | 10.27 | 3064624.29 |
| 108 | Dic/2010 | 330377.67 | 11181.31 | 122.38 | 13.91 | 10.36 | 3120603.83 |
| 109 | Ene/2011 | 330465.26 | 11131.68 | 125.82 | 13.96 | 10.43 | 3156725.15 |
| 110 | Feb/2011 | 349551.50 | 11276.42 | 128.59 | 14.01 | 10.48 | 3184431.56 |
| 111 | Mar/2011 | 366441.60 | 11038.11 | 126.04 | 14.07 | 10.53 | 3191430.55 |
| 112 | Abr/2011 | 339780.86 | 11324.86 | 127.74 | 14.12 | 10.58 | 3208643.78 |
| 113 | May/2011 | 358213.09 | 11065.23 | 117.42 | 14.17 | 10.64 | 3236753.98 |
| 114 | Jun/2011 | 359641.89 | 11373.45 | 109.46 | 14.22 | 10.77 | 3253095.88 |
| 115 | Jul/2011 | 354253.16 | 11092.44 | 108.66 | 14.28 | 10.91 | 3260414.54 |
| 116 | Ago/2011 | 365931.69 | 11422.22 | 108.05 | 14.33 | 10.96 | 3264744.64 |
| 117 | Sep/2011 | 352976.91 | 11119.74 | 110.21 | 14.38 | 11.08 | 3271385.89 |
| 118 | Oct/2011 | 350971.00 | 11471.14 | 109.04 | 14.44 | 11.19 | 3303378.12 |
| 119 | Nov/2011 | 338057.34 | 11147.13 | 118.24 | 14.49 | 11.28 | 3308090.75 |
| 120 | Dic/2011 | 347166.60 | 11520.24 | 130.62 | 14.54 | 11.35 | 3323224.83 |
| 121 | Ene/2012 | 355776.16 | 11359.73 | 134.08 | 14.60 | 11.36 | 3324545.99 |
| 122 | Feb/2012 | 357544.40 | 11454.83 | 134.91 | 14.65 | 11.39 | 3322340.21 |
| 123 | Mar/2012 | 369291.52 | 11316.86 | 131.77 | 14.71 | 11.44 | 3337494.66 |
| 124 | Abr/2012 | 347286.99 | 11504.25 | 129.56 | 14.76 | 11.49 | 3354396.20 |
| 125 | May/2012 | 378216.48 | 11344.54 | 119.30 | 14.82 | 11.66 | 3369255.77 |
| 126 | Jun/2012 | 376560.63 | 11553.85 | 108.74 | 14.87 | 11.73 | 3389546.12 |
| 127 | Jul/2012 | 381565.34 | 11372.30 | 108.94 | 14.93 | 11.75 | 3409247.61 |
| 128 | Ago/2012 | 371188.89 | 11603.61 | 105.62 | 14.98 | 11.80 | 3428448.79 |
| 129 | Sep/2012 | 352972.24 | 11400.16 | 106.09 | 15.04 | 11.92 | 3441531.17 |

|     |          |           |          |        |       |       |            |
|-----|----------|-----------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 130 | Oct/2012 | 373032.56 | 11653.54 | 104.66 | 15.09 | 12.09 | 3453380.93 |
| 131 | Nov/2012 | 356120.72 | 11428.12 | 115.44 | 15.15 | 12.07 | 3458871.92 |
| 132 | Dic/2012 | 347832.23 | 11703.64 | 124.19 | 15.21 | 12.09 | 3468857.70 |
| 133 | Ene/2013 | 363046.37 | 11592.46 | 127.61 | 15.26 | 12.15 | 3486797.04 |
| 134 | Feb/2013 | 349788.58 | 11641.06 | 128.12 | 15.32 | 12.22 | 3493854.48 |
| 135 | Mar/2013 | 351368.22 | 11597.16 | 121.64 | 15.38 | 12.28 | 3512708.55 |
| 136 | Abr/2013 | 373451.75 | 11691.49 | 121.53 | 15.43 | 12.34 | 3529873.08 |
| 137 | May/2013 | 378305.68 | 11625.40 | 114.54 | 15.49 | 12.39 | 3530982.61 |
| 138 | Jun/2013 | 412575.42 | 11742.10 | 105.96 | 15.55 | 12.45 | 3542193.92 |
| 139 | Jul/2013 | 370863.40 | 11653.73 | 106.23 | 15.61 | 12.53 | 3540894.90 |
| 140 | Ago/2013 | 378524.02 | 11792.88 | 107.81 | 15.66 | 12.61 | 3552678.24 |
| 141 | Sep/2013 | 364206.55 | 11682.17 | 106.59 | 15.72 | 12.69 | 3565003.52 |
| 142 | Oct/2013 | 374894.12 | 11843.84 | 105.78 | 15.78 | 12.76 | 3574473.06 |
| 143 | Nov/2013 | 368920.23 | 11710.69 | 117.92 | 15.84 | 12.87 | 3590830.90 |
| 144 | Dic/2013 | 346365.39 | 11894.96 | 128.45 | 15.90 | 12.97 | 3600762.67 |
| 145 | Ene/2014 | 357681.16 | 11829.95 | 132.82 | 15.96 | 13.14 | 3617405.64 |
| 146 | Feb/2014 | 365973.05 | 11849.96 | 131.80 | 16.02 | 13.26 | 3630598.70 |

**Tabla A.2 Estadísticas descriptivas de los datos**

|                           | <i>Qt</i>   | <i>Yt</i>    | <i>Pe t</i>  |
|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Media                     | 330386.3216 | 10465.35671  | 102.6984932  |
| Error típico              | 1974.013894 | 71.97288209  | 1.30495155   |
| Mediana                   | 324220.665  | 10717.03     | 103.905      |
| Moda                      | #N/A        | #N/A         | #N/A         |
| Desviación estándar       | 23852.10064 | 869.6516432  | 15.76778957  |
| Varianza de la muestra    | 568922704.7 | 756293.9805  | 248.6231881  |
| Curtosis                  | 0.065443871 | -1.156524687 | -0.800842769 |
| Coefficiente de asimetría | 0.636854336 | -0.253619763 | 0.051747496  |
| Rango                     | 134858.38   | 2993.27      | 64.42        |
| Mínimo                    | 277717.04   | 8901.69      | 70.49        |
| Máximo                    | 412575.42   | 11894.96     | 134.91       |
| Suma                      | 48236402.96 | 1527942.08   | 14993.98     |
| Cuenta                    | 146         | 146          | 146          |

|                           | <i>Pa t</i>  | <i>Pg t</i>  | <i>U t</i>   |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Media                     | 12.44191781  | 9.601917808  | 2734190.01   |
| Error típico              | 0.151080733  | 0.12854185   | 35875.82726  |
| Mediana                   | 12.06        | 9.365        | 2497713.91   |
| Moda                      | 9.74         | 9.29         | #N/A         |
| Desviación estándar       | 1.825515445  | 1.553177084  | 433489.2701  |
| Varianza de la muestra    | 3.332506641  | 2.412359055  | 1.87913E+11  |
| Curtosis                  | -1.046029198 | -0.537228082 | -0.864910731 |
| Coefficiente de asimetría | 0.349195444  | 0.548455829  | 0.88106416   |
| Rango                     | 6.32         | 5.97         | 1332812.09   |
| Mínimo                    | 9.7          | 7.29         | 2297786.61   |
| Máximo                    | 16.02        | 13.26        | 3630598.7    |
| Suma                      | 1816.52      | 1401.88      | 399191741.4  |
| Cuenta                    | 146          | 146          | 146          |

Fuente: Elaboración propia con datos de las series de tiempo

**Tabla A.3 Coeficiente de correlación**

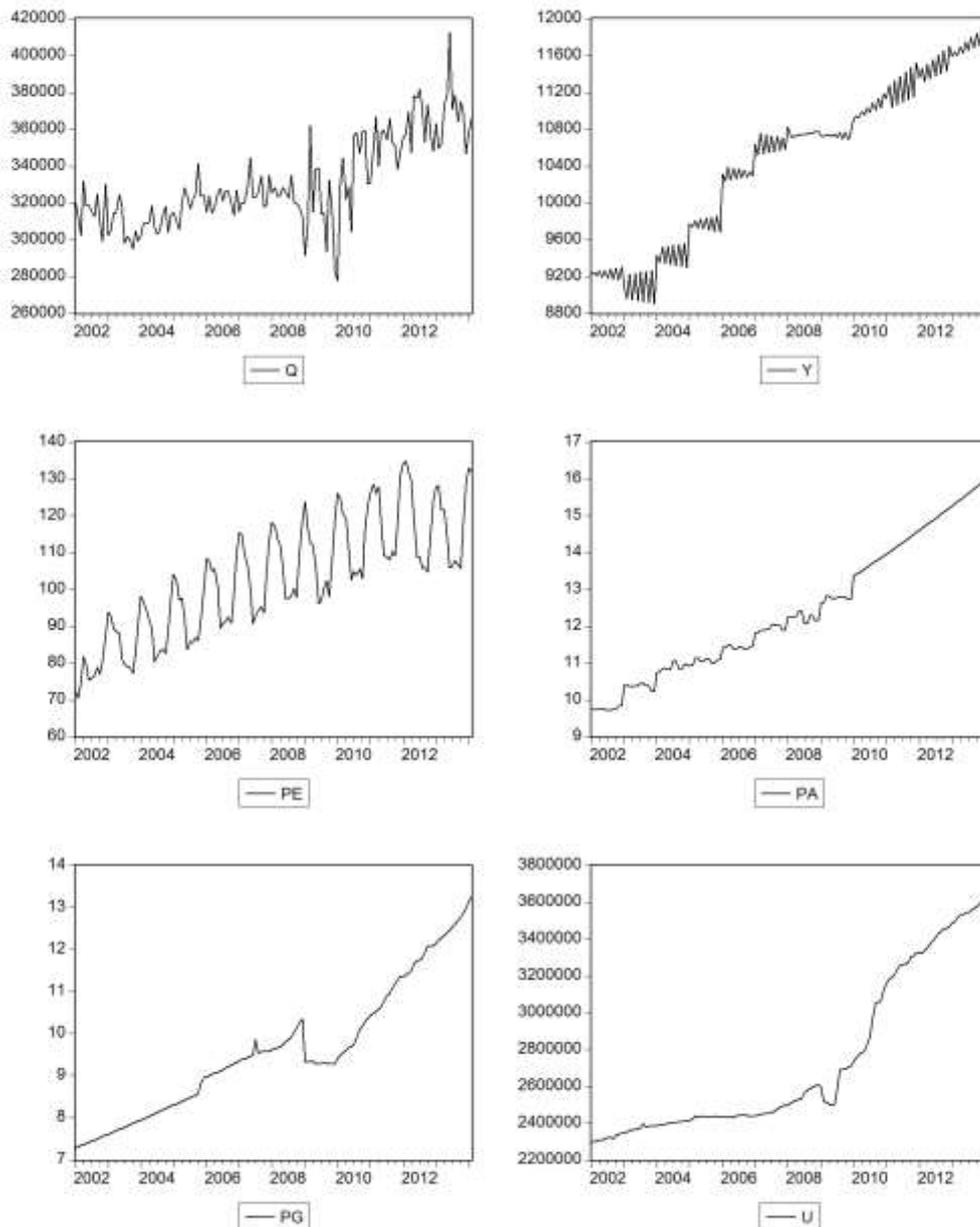
|             | <i>Qt</i>  | <i>Yt</i>  | <i>Pe t</i> | <i>Pa t</i> | <i>Pg t</i> | <i>U t</i> |
|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <i>Qt</i>   | 1          |            |             |             |             |            |
| <i>Yt</i>   | 0.73138046 | 1          |             |             |             |            |
| <i>Pe t</i> | 0.49558038 | 0.82228787 | 1           |             |             |            |
| <i>Pa t</i> | 0.78350749 | 0.95028253 | 0.80044581  | 1           |             |            |
| <i>Pg t</i> | 0.79923116 | 0.94252647 | 0.76192222  | 0.96692469  | 1           |            |
| <i>U t</i>  | 0.81729449 | 0.8518613  | 0.70198494  | 0.95453354  | 0.93617684  | 1          |

Fuente: Elaboración propia con datos de las series de tiempo

## Anexo B. Pruebas informales de integrabilidad

De acuerdo a lo descrito en la sección 2.7.1.1, se realizó la representación gráfica de la series de tiempo de este estudio como lo muestra la Figura B.1, de ésta se concluye que todas las series crecen a través del tiempo, lo cual es un comportamiento característico de series no estacionarias, por lo tanto se deben realizar primeras diferencias.

**Figura B.1 Graficas de las series de tiempo en logaritmos naturales**



Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

- **Correlogramas/Prueba de BP o Q de Box-Pierce/Estadístico LB o Q de Ljung-Box**

De acuerdo a lo descrito en la sección 2.7.1.1, se obtuvieron los correlogramas de cada una de las series de tiempo de este estudio los cuales se muestran en las Figuras B.2 a B.7, dado que los valores de la funciones de autocorrelación muestral con respecto a la longitud del retardo en cada uno de los correlogramas presentan un comportamiento de caída lenta hacia cero, se concluye que son series no estacionarias, por lo tanto se deben realizar primeras diferencias.

**Figura B.2 Correlograma de la serie consumo residencial de electricidad en logaritmo natural  $Q_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.763 | 0.763  | 86.659 | 0.000 |
| . *****         | . **                | 2  | 0.684 | 0.245  | 156.90 | 0.000 |
| . *****         | . **                | 3  | 0.687 | 0.270  | 228.18 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 4  | 0.669 | 0.143  | 296.36 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 5  | 0.657 | 0.128  | 362.60 | 0.000 |
| . ****          | * .                 | 6  | 0.573 | -0.118 | 413.36 | 0.000 |
| . ****          | . *                 | 7  | 0.578 | 0.099  | 465.34 | 0.000 |
| . ****          | . .                 | 8  | 0.575 | 0.035  | 517.11 | 0.000 |
| . ****          | . .                 | 9  | 0.537 | -0.006 | 562.52 | 0.000 |
| . ****          | . .                 | 10 | 0.523 | 0.028  | 605.92 | 0.000 |
| . ****          | . *                 | 11 | 0.555 | 0.173  | 655.22 | 0.000 |
| . ****          | . *                 | 12 | 0.572 | 0.090  | 707.90 | 0.000 |
| . ****          | * .                 | 13 | 0.484 | -0.169 | 745.96 | 0.000 |
| . ***           | * .                 | 14 | 0.439 | -0.092 | 777.48 | 0.000 |
| . ***           | . .                 | 15 | 0.441 | -0.029 | 809.50 | 0.000 |
| . ***           | . .                 | 16 | 0.435 | -0.009 | 840.90 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

**Figura B.3 Correlograma de la serie ingreso (PIB per cápita) en logaritmo natural  $Y_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.960 | 0.960  | 137.40 | 0.000 |
| . *****         | . *****             | 2  | 0.962 | 0.516  | 276.33 | 0.000 |
| . *****         | *** .               | 3  | 0.923 | -0.339 | 405.12 | 0.000 |
| . *****         | . **                | 4  | 0.924 | 0.216  | 535.04 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 5  | 0.887 | -0.149 | 655.68 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 6  | 0.886 | 0.081  | 776.88 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 7  | 0.851 | -0.064 | 889.57 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 8  | 0.849 | 0.028  | 1002.3 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 9  | 0.816 | -0.033 | 1107.3 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 10 | 0.812 | 0.010  | 1211.9 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 11 | 0.780 | -0.023 | 1309.3 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 12 | 0.774 | -0.009 | 1406.0 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 13 | 0.738 | -0.142 | 1494.5 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 14 | 0.724 | -0.091 | 1580.3 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 15 | 0.689 | 0.041  | 1658.6 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 16 | 0.676 | -0.011 | 1734.4 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

**Figura B.4 Correlograma de la serie precio medio real de la electricidad en logaritmo natural  $Pe_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.916 | 0.916  | 124.95 | 0.000 |
| . *****         | *** .               | 2  | 0.781 | -0.357 | 216.43 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 3  | 0.647 | 0.025  | 279.62 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 4  | 0.534 | 0.035  | 323.01 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 5  | 0.433 | -0.067 | 351.81 | 0.000 |
| . *****         | . **                | 6  | 0.378 | 0.235  | 373.88 | 0.000 |
| . *****         | . ***               | 7  | 0.406 | 0.394  | 399.46 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 8  | 0.485 | 0.141  | 436.25 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 9  | 0.572 | 0.095  | 487.88 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 10 | 0.655 | 0.179  | 556.06 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 11 | 0.727 | 0.105  | 640.55 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 12 | 0.761 | 0.025  | 733.98 | 0.000 |
| . *****         | *** .               | 13 | 0.701 | -0.346 | 813.74 | 0.000 |
| . *****         | . *                 | 14 | 0.598 | 0.074  | 872.21 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 15 | 0.485 | -0.077 | 911.08 | 0.000 |
| . *****         | * .                 | 16 | 0.384 | -0.106 | 935.58 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

**Figura B.5 Correlograma de la serie precio medio real del servicio agua en logaritmo natural  $Pa_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.977 | 0.977  | 142.20 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 2  | 0.954 | -0.011 | 278.68 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 3  | 0.931 | 0.007  | 409.78 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 4  | 0.909 | -0.010 | 535.59 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 5  | 0.887 | -0.021 | 656.07 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 6  | 0.864 | -0.010 | 771.31 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 7  | 0.841 | -0.017 | 881.35 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 8  | 0.819 | -0.011 | 986.30 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 9  | 0.797 | 0.000  | 1086.4 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 10 | 0.775 | -0.010 | 1181.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 11 | 0.753 | 0.004  | 1272.5 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 12 | 0.732 | -0.010 | 1358.9 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 13 | 0.713 | 0.027  | 1441.4 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 14 | 0.693 | -0.010 | 1520.0 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 15 | 0.673 | -0.028 | 1594.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 16 | 0.653 | -0.011 | 1665.5 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

**Figura B.6 Correlograma de la serie precio medio real del gas L.P en logaritmo natural  $Pg_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.972 | 0.972  | 140.89 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 2  | 0.945 | -0.005 | 274.95 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 3  | 0.919 | 0.000  | 402.52 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 4  | 0.893 | -0.009 | 523.79 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 5  | 0.867 | -0.010 | 638.92 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 6  | 0.841 | -0.013 | 748.06 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 7  | 0.815 | -0.011 | 851.36 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 8  | 0.790 | -0.012 | 948.97 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 9  | 0.764 | -0.012 | 1041.0 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 10 | 0.738 | -0.016 | 1127.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 11 | 0.713 | -0.018 | 1209.0 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 12 | 0.687 | -0.015 | 1285.1 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 13 | 0.662 | -0.006 | 1356.3 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 14 | 0.637 | -0.011 | 1422.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 15 | 0.612 | -0.013 | 1484.4 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 16 | 0.587 | -0.019 | 1541.6 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

**Figura B.6 Correlograma de la serie número de usuarios del servicio en logaritmo natural  $U_t$**

| Autocorrelation | Partial Correlation |    | AC    | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
| . *****         | . *****             | 1  | 0.981 | 0.981  | 143.53 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 2  | 0.962 | -0.037 | 282.34 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 3  | 0.942 | -0.017 | 416.40 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 4  | 0.922 | -0.015 | 545.70 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 5  | 0.901 | -0.017 | 670.23 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 6  | 0.881 | -0.013 | 790.02 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 7  | 0.861 | -0.009 | 905.15 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 8  | 0.840 | -0.013 | 1015.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 9  | 0.819 | -0.037 | 1121.4 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 10 | 0.797 | -0.005 | 1222.4 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 11 | 0.776 | -0.028 | 1318.7 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 12 | 0.754 | -0.013 | 1410.2 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 13 | 0.731 | -0.024 | 1497.1 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 14 | 0.708 | -0.034 | 1579.2 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 15 | 0.685 | -0.015 | 1656.6 | 0.000 |
| . *****         | . .                 | 16 | 0.662 | -0.013 | 1729.3 | 0.000 |

Fuente: Diseño propio con resultados de eviews

### Anexo C. Pruebas formales de integrabilidad

**Tabla C.1 Prueba de raíz unitaria de la serie  $Q_t$**

|  | t – Statistics | Prob *    |
|--|----------------|-----------|
| <b>En nivel</b>                        |                |           |
| (intercepto y 2 retardos) DW 2.050916  |                |           |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic | -2.103741      | 0.2436    |
| Test critical values:                  |                |           |
|  | 1% level       | -3.476472 |
|  | 5% level       | -2.881685 |
|  | 10% level      | -2.577591 |
| <b>Primera diferencia</b>              |                |           |
| (intercepto y 2 retardos) DW 2.062949  |                |           |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic | -10.71229      | 0.0000    |
| Test critical values:                  |                |           |
|  | 1% level       | -3.476805 |
|  | 5% level       | -2.881830 |
|  | 10% level      | -2.577668 |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values

Fuente: Elaboración propia

En el caso en nivel de la serie  $Q_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-2.103741) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-10.71229) en términos absolutos es mayor al valor crítico de McKinnon al 5% por lo tanto la serie  $Q_t$  es integrada de orden 1.

**Tabla C.4 Prueba de raíz unitaria de la serie  $Y_t$**

|   | <b>t – Statistics</b> | <b>Prob *</b> |
|---|-----------------------|---------------|
| <b>En nivel</b>                                 |                       |               |
| (constante, tendencia y 2 retardos) DW 1.919043 |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic          | -2.552802             | 0.3027        |
| Test critical values:                           |                       |               |
| 1% level  | -4.023506             |               |
| 5% level  | -3.441552             |               |
| 10% level                                       | -3.145341             |               |
| <b>Primera diferencia</b>                       |                       |               |
| (constante y 1 retardo) DW 1.909329             |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic          | -8.553859             | 0.0000        |
| Test critical values:                           |                       |               |
| 1% level  | -3.476472             |               |
| 5% level  | -2.881685             |               |
| 10% level                                       | -2.577591             |               |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En el caso en nivel de la serie  $Y_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-2.552802) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-8.553859) en términos absolutos es mayor al valor crítico de MacKinnon al 5% por lo tanto la serie  $Y_t$  es integrada de orden 1.

**Tabla C.3 Prueba de raíz unitaria de la serie  $Pe_t$**

|  | <b>t – Statistics</b> | <b>Prob *</b> |
|--|-----------------------|---------------|
| <b>En nivel</b>                                  |                       |               |
| (constante y 12 retardos) DW 2.001998            |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic           | -1.088528             | 0.7192        |
| Test critical values:                            |                       |               |
| 1% level   | -3.480038             |               |
| 5% level   | -2.883239             |               |
| 10% level  | -2.578420             |               |
| <b>Primera diferencia</b>                        |                       |               |
| (constante, tendencia y 11 retardos) DW 2.003256 |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic           | -4.645613             | 0.0013        |
| Test critical values:                            |                       |               |
| 1% level   | -4.028496             |               |
| 5% level   | -3.443961             |               |
| 10% level  | -3.146755             |               |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En el caso en nivel de la serie  $Pe_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-1.088528) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de

MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-4.645613) en términos absolutos es mayor al valor crítico de McKinnon al 5% por lo tanto la serie  $Pe_t$  es integrada de orden 1.

**Tabla C.5 Prueba de raíz unitaria de la serie  $Pa_t$**

|  | <b>t – Statistics</b> | <b>Prob *</b> |
|--|-----------------------|---------------|
| <b>En nivel</b>                                  |                       |               |
| (constante, tendencia y 0 retardos) DW 2.027981  |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic           | -2.349119             | 0.4047        |
| Test critical values:                            |                       |               |
| 1% level   | -4.022586             |               |
| 5% level   | -3.441111             |               |
| 10% level  | -3.145082             |               |
| <b>Primera diferencia</b>                        |                       |               |
| (constante, tendencia y 13 retardos) DW 1.979136 |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic           | -3.283544             | 0.0956        |
| Test critical values:                            |                       |               |
| 1% level   | -4.029595             |               |
| 5% level   | -3.444487             |               |
| 10% level  | -3.147063             |               |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En el caso en nivel de la serie  $Pa_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-2.349119) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-3.283544) en términos absolutos es mayor al valor crítico de McKinnon al 10% por lo tanto la serie  $Pa_t$  es integrada de orden 1.

**Tabla C.6 Prueba de raíz unitaria de la serie  $Pg_t$**

|   | <b>t – Statistics</b> | <b>Prob *</b> |
|---|-----------------------|---------------|
| <b>En nivel</b>                                 |                       |               |
| (constante, tendencia y 0 retardos) DW 2.024898 |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic          | -0.379185             | 0.9875        |
| Test critical values:                           |                       |               |
| 1% level  | -4.022586             |               |
| 5% level  | -3.441111             |               |
| 10% level                                       | -3.145082             |               |
| <b>Primera diferencia</b>                       |                       |               |
| (constante y 0 retardos) DW 1.996534            |                       |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic          | -11.87170             | 0.0000        |

|                       |           |           |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Test critical values: | 1% level  | -3.476143 |
|                       | 5% level  | -2.881541 |
|                       | 10% level | -2.577514 |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values  
Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En el caso en nivel de la serie  $Pg_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-0.379185) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-11.87170) en términos absolutos es mayor al valor crítico de McKinnon al 5% por lo tanto la serie  $Pg_t$  es integrada de orden 1.

**Tabla C.7 Prueba de raíz unitaria de la serie  $U_t$**

|  | <b>t – Statistics</b> | <b>Prob *</b> |
|--|-----------------------|---------------|
| <b>En nivel</b>                        |                       |               |
| (constante, tendencia y 1 retardo) DW  | 1.903202              |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic | -1.050250             | 0.9326        |
| Test critical values:                  |                       |               |
| 1% level                               | -4.023042             |               |
| 5% level                               | -3.441330             |               |
| 10% level                              | -3.145211             |               |
| <b>Primera diferencia</b>              |                       |               |
| (constante y 0 retardo) DW             | 1.923214              |               |
| Augmented Dickey Fuller Test Statistic | -7.107750             | 0.0000        |
| Test critical values:                  |                       |               |
| 1% level                               | -3.476143             |               |
| 5% level                               | -2.881541             |               |
| 10% level                              | -2.577514             |               |

\* MacKinnon (1996) one sided p – values  
Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

En el caso en nivel de la serie  $U_t$  se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad dado que el estadístico ADF (-1.050250) es menor en valor absoluto que todos los valores críticos de MacKinnon. Por su parte en el caso de la primera diferencia se rechaza la hipótesis nula en favor de la estacionariedad, dado que el valor ADF (-7.107750) en términos absolutos es mayor al valor crítico de McKinnon al 5% por lo tanto la serie  $U_t$  es integrada de orden 1.

## Anexo D. Modelo Vector Autorregresivo (VAR)

**Tabla D.1 Resultado del modelo VAR estimado con 6 retardos**

---

Vector Autoregression Estimates  
Date: 11/18/14 Time: 03:36  
Sample(adjusted): 2002:07 2014:02  
Included observations: 140 after adjusting endpoints  
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

|         | lnQ                                  | lnY                                  | lnPE                                 | lnU                                  | lnPG                                 | lnPA                                 |
|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| lnQ(-1) | 0.246192<br>(0.10256)<br>[ 2.40049]  | 0.037321<br>(0.02381)<br>[ 1.56769]  | -0.051149<br>(0.08985)<br>[-0.56926] | 0.016904<br>(0.01429)<br>[ 1.18315]  | 0.044884<br>(0.03204)<br>[ 1.40100]  | 0.038245<br>(0.02566)<br>[ 1.49059]  |
| lnQ(-2) | -0.006276<br>(0.09939)<br>[-0.06315] | 0.000752<br>(0.02307)<br>[ 0.03261]  | -0.033162<br>(0.08707)<br>[-0.38086] | 0.018972<br>(0.01385)<br>[ 1.37023]  | 0.040627<br>(0.03105)<br>[ 1.30856]  | 0.002562<br>(0.02486)<br>[ 0.10304]  |
| lnQ(-3) | 0.057182<br>(0.10065)<br>[ 0.56815]  | 0.058085<br>(0.02336)<br>[ 2.48623]  | -0.048353<br>(0.08818)<br>[-0.54837] | -0.001424<br>(0.01402)<br>[-0.10156] | 0.009631<br>(0.03144)<br>[ 0.30634]  | -0.030199<br>(0.02518)<br>[-1.19938] |
| lnQ(-4) | -0.001459<br>(0.09705)<br>[-0.01504] | -0.013247<br>(0.02253)<br>[-0.58806] | 0.068091<br>(0.08502)<br>[ 0.80085]  | 0.021724<br>(0.01352)<br>[ 1.60683]  | 0.004613<br>(0.03032)<br>[ 0.15217]  | -0.007808<br>(0.02428)<br>[-0.32159] |
| lnQ(-5) | 0.155836<br>(0.09536)<br>[ 1.63418]  | 0.005801<br>(0.02214)<br>[ 0.26205]  | -0.069805<br>(0.08354)<br>[-0.83555] | 0.032591<br>(0.01328)<br>[ 2.45328]  | -0.008607<br>(0.02979)<br>[-0.28892] | -0.013940<br>(0.02386)<br>[-0.58433] |
| lnQ(-6) | -0.168845<br>(0.09803)<br>[-1.72244] | -0.006854<br>(0.02275)<br>[-0.30121] | 0.136743<br>(0.08588)<br>[ 1.59226]  | -0.016861<br>(0.01366)<br>[-1.23473] | 0.030828<br>(0.03062)<br>[ 1.00674]  | -0.079658<br>(0.02452)<br>[-3.24820] |
| lnY(-1) | 0.234807<br>(0.40125)<br>[ 0.58518]  | 0.176548<br>(0.09314)<br>[ 1.89549]  | -0.490724<br>(0.35153)<br>[-1.39595] | -0.006715<br>(0.05590)<br>[-0.12014] | 0.043600<br>(0.12534)<br>[ 0.34785]  | 0.041218<br>(0.10038)<br>[ 0.41061]  |
| lnY(-2) | -0.230568<br>(0.41016)<br>[-0.56214] | 0.688057<br>(0.09521)<br>[ 7.22680]  | -0.058304<br>(0.35934)<br>[-0.16225] | -0.062454<br>(0.05714)<br>[-1.09301] | 0.010858<br>(0.12813)<br>[ 0.08475]  | 0.073973<br>(0.10261)<br>[ 0.72090]  |
| lnY(-3) | 0.048843<br>(0.49990)<br>[ 0.09771]  | -0.181232<br>(0.11604)<br>[-1.56182] | 0.563574<br>(0.43795)<br>[ 1.28683]  | 0.049699<br>(0.06964)<br>[ 0.71365]  | -0.058930<br>(0.15616)<br>[-0.37738] | -0.058027<br>(0.12506)<br>[-0.46398] |
| lnY(-4) | 0.282568<br>(0.48440)<br>[ 0.58333]  | 0.122683<br>(0.11244)<br>[ 1.09108]  | -0.496575<br>(0.42438)<br>[-1.17012] | 0.041357<br>(0.06748)<br>[ 0.61286]  | 0.139473<br>(0.15132)<br>[ 0.92172]  | -0.048345<br>(0.12118)<br>[-0.39893] |
| lnY(-5) | -0.088132<br>(0.39956)<br>[-0.22057] | 0.003963<br>(0.09275)<br>[ 0.04273]  | -0.027874<br>(0.35005)<br>[-0.07963] | -0.001365<br>(0.05566)<br>[-0.02452] | -0.008597<br>(0.12481)<br>[-0.06888] | 0.036800<br>(0.09996)<br>[ 0.36815]  |
| lnY(-6) | 0.069488<br>(0.36615)<br>[ 0.18978]  | -0.016517<br>(0.08499)<br>[-0.19434] | 1.000766<br>(0.32078)<br>[ 3.11982]  | 0.017199<br>(0.05101)<br>[ 0.33719]  | -0.125089<br>(0.11438)<br>[-1.09366] | 0.038491<br>(0.09160)<br>[ 0.42021]  |

---

|          |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| lnPE(-1) | -0.035118<br>(0.10070)<br>[-0.34875] | 0.037409<br>(0.02337)<br>[ 1.60041]  | 0.893393<br>(0.08822)<br>[ 10.1269]  | 0.007713<br>(0.01403)<br>[ 0.54984]  | -0.044192<br>(0.03146)<br>[-1.40487] | 0.053403<br>(0.02519)<br>[ 2.11986]  |
| lnPE(-2) | -0.069088<br>(0.12625)<br>[-0.54722] | 0.022637<br>(0.02931)<br>[ 0.77243]  | -0.188452<br>(0.11061)<br>[-1.70379] | -0.011756<br>(0.01759)<br>[-0.66843] | 0.002398<br>(0.03944)<br>[ 0.06081]  | 0.031727<br>(0.03158)<br>[ 1.00451]  |
| lnPE(-3) | 0.203810<br>(0.12715)<br>[ 1.60287]  | -0.042889<br>(0.02952)<br>[-1.45311] | -0.081825<br>(0.11140)<br>[-0.73454] | 0.009898<br>(0.01771)<br>[ 0.55875]  | 0.049272<br>(0.03972)<br>[ 1.24048]  | -0.095162<br>(0.03181)<br>[-2.99153] |
| lnPE(-4) | -0.072009<br>(0.13252)<br>[-0.54338] | 0.012272<br>(0.03076)<br>[ 0.39894]  | 0.268464<br>(0.11610)<br>[ 2.31237]  | 0.006897<br>(0.01846)<br>[ 0.37360]  | -0.049785<br>(0.04140)<br>[-1.20263] | 0.068876<br>(0.03315)<br>[ 2.07751]  |
| lnPE(-5) | 0.093857<br>(0.13480)<br>[ 0.69626]  | 0.017552<br>(0.03129)<br>[ 0.56093]  | -0.478811<br>(0.11810)<br>[-4.05435] | -0.017970<br>(0.01878)<br>[-0.95693] | 0.039640<br>(0.04211)<br>[ 0.94137]  | -0.067751<br>(0.03372)<br>[-2.00900] |
| lnPE(-6) | -0.035277<br>(0.10816)<br>[-0.32616] | -0.022606<br>(0.02511)<br>[-0.90039] | -0.030506<br>(0.09476)<br>[-0.32194] | 0.002531<br>(0.01507)<br>[ 0.16800]  | -0.039531<br>(0.03379)<br>[-1.17001] | 0.040526<br>(0.02706)<br>[ 1.49771]  |
| lnU(-1)  | -0.562657<br>(0.70331)<br>[-0.80001] | -0.230158<br>(0.16326)<br>[-1.40979] | -0.769324<br>(0.61616)<br>[-1.24857] | 1.203272<br>(0.09798)<br>[ 12.2811]  | -0.073886<br>(0.21970)<br>[-0.33630] | 0.120936<br>(0.17595)<br>[ 0.68733]  |
| lnU(-2)  | 2.066846<br>(1.07543)<br>[ 1.92188]  | -0.020708<br>(0.24963)<br>[-0.08295] | -0.444286<br>(0.94217)<br>[-0.47156] | -0.481797<br>(0.14982)<br>[-3.21590] | -0.031819<br>(0.33594)<br>[-0.09472] | 0.029015<br>(0.26904)<br>[ 0.10784]  |
| lnU(-3)  | -0.770625<br>(1.15033)<br>[-0.66992] | 0.132830<br>(0.26702)<br>[ 0.49745]  | 0.594432<br>(1.00779)<br>[ 0.58983]  | 0.122900<br>(0.16025)<br>[ 0.76692]  | 0.059814<br>(0.35934)<br>[ 0.16645]  | -0.023932<br>(0.28778)<br>[-0.08316] |
| lnU(-4)  | -1.586445<br>(1.13489)<br>[-1.39789] | -0.282791<br>(0.26344)<br>[-1.07347] | 0.509960<br>(0.99426)<br>[ 0.51290]  | -0.019921<br>(0.15810)<br>[-0.12600] | -0.263162<br>(0.35452)<br>[-0.74231] | -0.432475<br>(0.28392)<br>[-1.52323] |
| lnU(-5)  | 0.577229<br>(1.07217)<br>[ 0.53837]  | 0.435234<br>(0.24888)<br>[ 1.74879]  | 0.067029<br>(0.93932)<br>[ 0.07136]  | 0.034160<br>(0.14936)<br>[ 0.22871]  | 0.447513<br>(0.33492)<br>[ 1.33616]  | 0.792237<br>(0.26823)<br>[ 2.95359]  |
| lnU(-6)  | 0.745728<br>(0.63919)<br>[ 1.16668]  | -0.164643<br>(0.14837)<br>[-1.10967] | -0.308150<br>(0.55999)<br>[-0.55028] | 0.083768<br>(0.08904)<br>[ 0.94074]  | -0.189281<br>(0.19967)<br>[-0.94797] | -0.377327<br>(0.15991)<br>[-2.35965] |
| lnPG(-1) | 0.134218<br>(0.32091)<br>[ 0.41824]  | 0.076369<br>(0.07449)<br>[ 1.02520]  | 0.514788<br>(0.28115)<br>[ 1.83102]  | 0.130212<br>(0.04471)<br>[ 2.91263]  | 0.840635<br>(0.10025)<br>[ 8.38566]  | 0.013475<br>(0.08028)<br>[ 0.16784]  |
| lnPG(-2) | -0.542532<br>(0.42100)<br>[-1.28868] | 0.080261<br>(0.09772)<br>[ 0.82131]  | 0.248170<br>(0.36883)<br>[ 0.67286]  | -0.217154<br>(0.05865)<br>[-3.70262] | 0.081458<br>(0.13151)<br>[ 0.61940]  | -0.162742<br>(0.10532)<br>[-1.54517] |
| lnPG(-3) | 0.512583<br>(0.45408)<br>[ 1.12884]  | -0.016216<br>(0.10540)<br>[-0.15385] | -0.422724<br>(0.39781)<br>[-1.06262] | 0.122118<br>(0.06326)<br>[ 1.93051]  | 0.058150<br>(0.14185)<br>[ 0.40996]  | 0.142929<br>(0.11360)<br>[ 1.25819]  |

|                                 |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| lnPG(-4)                        | -0.448545<br>(0.46515)<br>[-0.96431] | -0.067930<br>(0.10797)<br>[-0.62914] | -0.079341<br>(0.40751)<br>[-0.19470] | -0.024031<br>(0.06480)<br>[-0.37085] | -0.042686<br>(0.14530)<br>[-0.29377] | 0.033435<br>(0.11637)<br>[ 0.28732]  |
| lnPG(-5)                        | 0.329762<br>(0.46394)<br>[ 0.71079]  | 0.016430<br>(0.10769)<br>[ 0.15257]  | 0.046626<br>(0.40645)<br>[ 0.11471]  | -0.089168<br>(0.06463)<br>[-1.37965] | 0.013830<br>(0.14493)<br>[ 0.09543]  | -0.025389<br>(0.11607)<br>[-0.21875] |
| lnPG(-6)                        | 0.056571<br>(0.37102)<br>[ 0.15247]  | -0.114325<br>(0.08612)<br>[-1.32748] | -0.572996<br>(0.32504)<br>[-1.76283] | -0.054749<br>(0.05169)<br>[-1.05926] | -0.077937<br>(0.11590)<br>[-0.67246] | 0.025992<br>(0.09282)<br>[ 0.28003]  |
| lnPA(-1)                        | 0.079740<br>(0.38837)<br>[ 0.20532]  | 0.090132<br>(0.09015)<br>[ 0.99979]  | 0.167839<br>(0.34025)<br>[ 0.49328]  | -0.005166<br>(0.05410)<br>[-0.09548] | 0.077470<br>(0.12132)<br>[ 0.63856]  | 0.814386<br>(0.09716)<br>[ 8.38186]  |
| lnPA(-2)                        | 0.420838<br>(0.47864)<br>[ 0.87924]  | -0.044691<br>(0.11110)<br>[-0.40225] | -0.711374<br>(0.41933)<br>[-1.69645] | 0.060512<br>(0.06668)<br>[ 0.90751]  | 0.058189<br>(0.14952)<br>[ 0.38918]  | -0.236019<br>(0.11974)<br>[-1.97105] |
| lnPA(-3)                        | -0.901031<br>(0.47527)<br>[-1.89585] | -0.077734<br>(0.11032)<br>[-0.70461] | 0.456191<br>(0.41638)<br>[ 1.09562]  | -0.027601<br>(0.06621)<br>[-0.41687] | -0.166079<br>(0.14846)<br>[-1.11865] | 0.211102<br>(0.11890)<br>[ 1.77547]  |
| lnPA(-4)                        | 0.150826<br>(0.46577)<br>[ 0.32382]  | 0.035755<br>(0.10812)<br>[ 0.33071]  | 0.276948<br>(0.40805)<br>[ 0.67870]  | 0.061810<br>(0.06489)<br>[ 0.95260]  | -0.062223<br>(0.14550)<br>[-0.42766] | 0.097764<br>(0.11652)<br>[ 0.83901]  |
| lnPA(-5)                        | -0.366400<br>(0.45868)<br>[-0.79882] | -0.150946<br>(0.10647)<br>[-1.41773] | -0.404043<br>(0.40184)<br>[-1.00548] | 0.048334<br>(0.06390)<br>[ 0.75643]  | 0.066216<br>(0.14328)<br>[ 0.46214]  | -0.041232<br>(0.11475)<br>[-0.35932] |
| lnPA(-6)                        | 0.159590<br>(0.37428)<br>[ 0.42639]  | 0.371899<br>(0.08688)<br>[ 4.28060]  | 1.102922<br>(0.32790)<br>[ 3.36356]  | 0.025206<br>(0.05214)<br>[ 0.48342]  | 0.210003<br>(0.11692)<br>[ 1.79616]  | -0.024699<br>(0.09364)<br>[-0.26378] |
| C                               | -0.121141<br>(3.23746)<br>[-0.03742] | 2.185124<br>(0.75150)<br>[ 2.90769]  | 1.851337<br>(2.83631)<br>[ 0.65273]  | -0.504272<br>(0.45101)<br>[-1.11810] | -0.784660<br>(1.01132)<br>[-0.77588] | -0.985603<br>(0.80993)<br>[-1.21690] |
| R-squared                       | 0.810028                             | 0.992195                             | 0.964902                             | 0.999151                             | 0.995892                             | 0.996864                             |
| Adj. R-squared                  | 0.743630                             | 0.989467                             | 0.952635                             | 0.998854                             | 0.994456                             | 0.995768                             |
| Sum sq. resids                  | 0.136082                             | 0.007332                             | 0.104447                             | 0.002641                             | 0.013279                             | 0.008517                             |
| S.E. equation                   | 0.036348                             | 0.008437                             | 0.031844                             | 0.005064                             | 0.011354                             | 0.009093                             |
| F-statistic                     | 12.19958                             | 363.7220                             | 78.65694                             | 3367.626                             | 693.5867                             | 909.6074                             |
| Log likelihood                  | 286.8786                             | 491.3455                             | 305.3989                             | 562.8270                             | 449.7734                             | 480.8624                             |
| Akaike AIC                      | -3.569694                            | -6.490650                            | -3.834270                            | -7.511814                            | -5.896762                            | -6.340891                            |
| Schwarz SC                      | -2.792260                            | -5.713216                            | -3.056836                            | -6.734380                            | -5.119328                            | -5.563457                            |
| Mean dependent                  | 12.70716                             | 9.257548                             | 4.632491                             | 14.81656                             | 2.260207                             | 2.520615                             |
| S.D. dependent                  | 0.071787                             | 0.082212                             | 0.146319                             | 0.149607                             | 0.152494                             | 0.139790                             |
| Determinant Residual Covariance |                                      | 1.92E-23                             |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Log Likelihood (d.f. adjusted)  |                                      | 2469.474                             |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Akaike Information Criteria     |                                      | -32.10677                            |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Schwarz Criteria                |                                      | -27.44216                            |                                      |                                      |                                      |                                      |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

## Anexo E. Pruebas de diagnóstico de los residuos del VAR estimado

**Tabla E.8 Estadístico multivariado Q, de Box-Pierce/Ljung-Box para la prueba de autocorrelación**

| Lags | Q-Stat   | Prob.  | Adj Q-Stat | Prob.  | df  |
|------|----------|--------|------------|--------|-----|
| 1    | 9.256426 | NA*    | 9.323019   | NA*    | NA* |
| 2    | 26.64771 | NA*    | 26.96635   | NA*    | NA* |
| 3    | 41.05178 | NA*    | 41.68583   | NA*    | NA* |
| 4    | 60.91369 | NA*    | 62.13192   | NA*    | NA* |
| 5    | 80.46179 | NA*    | 82.40403   | NA*    | NA* |
| 6    | 127.8115 | NA*    | 131.8739   | NA*    | NA* |
| 7    | 156.2896 | 0.0000 | 161.8508   | 0.0000 | 36  |
| 8    | 201.7896 | 0.0000 | 210.1084   | 0.0000 | 72  |
| 9    | 230.0010 | 0.0000 | 240.2580   | 0.0000 | 108 |
| 10   | 269.9232 | 0.0000 | 283.2511   | 0.0000 | 144 |
| 11   | 302.4358 | 0.0000 | 318.5362   | 0.0000 | 180 |
| 12   | 370.1041 | 0.0000 | 392.5484   | 0.0000 | 216 |

\*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.  
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

| Hipótesis  | Estadístico    | Decisión  |
|--|----------------|---|
| $H_0$ : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo “h” | Ljung -<br>Box | Rechace $H_0$ si el valor de probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Hay autocorrelación hasta el retardo “h”         |                | No rechazar $H_1$ si el valor de probabilidad es mayor que 0.05   |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

La prueba es válida solamente para retardos superiores al orden del retardo del VAR, “df” son los grados de libertad de la distribución Chi cuadrado, los valores de probabilidad de la Tabla E.1 indican que se rechaza a  $H_0$ , por lo tanto existe autocorrelación hasta el retardo 7.

**Tabla E.9 Prueba de multiplicador de Lagrange (LM)**

| Lags | LM-Stat  | Prob   |
|------|----------|--------|
| 1    | 67.50542 | 0.0011 |
| 2    | 60.78833 | 0.0060 |
| 3    | 70.52062 | 0.0005 |
| 4    | 61.70650 | 0.0049 |
| 5    | 51.09946 | 0.0490 |
| 6    | 64.92170 | 0.0022 |
| 7    | 34.24068 | 0.5524 |
| 8    | 55.11811 | 0.0216 |
| 9    | 30.29575 | 0.7362 |
| 10   | 41.72372 | 0.2359 |
| 11   | 34.75774 | 0.5276 |
| 12   | 77.39721 | 0.0001 |

Probs from chi-square with 36 df.

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

Esta prueba permite detectar autocorrelación de cualquier orden, especialmente en aquellos modelos con o sin variables dependientes retardadas, permite determinar si existe correlación en los residuos hasta un determinado orden.

| Hipótesis  | Estadístico   | Decisión   |
|--|---|--|
| $H_0$ : Ausencia de autocorrelación hasta el retardo del orden “h” | $LM = T \cdot R^2$ (número de observaciones * $R^2$ ) | Rechace $H_0$ si el valor de probabilidad es menor o igual a 0.05% |
| $H_1$ : Hay autocorrelación hasta el retardo de orden “h”          |   | No rechazar a $H_0$ si el valor de probabilidad es mayor que 0.05% |

Los valores de probabilidad de la Tabla E.2 indican que se rechaza a  $H_0$  hasta el retardo seis, ya que  $0.0022 < 0.05$  y por lo tanto existe autocorrelación hasta dicho retardo.

**Tabla E.10 Prueba de normalidad de los residuos**

| Component | Skewness    | Chi-sq   | Df     | Prob.  |
|-----------|-------------|----------|--------|--------|
| 1         | -0.096523   | 0.217388 | 1      | 0.6410 |
| 2         | -0.112054   | 0.292976 | 1      | 0.5883 |
| 3         | -0.083127   | 0.161237 | 1      | 0.6880 |
| 4         | 0.301605    | 2.122534 | 1      | 0.1451 |
| 5         | -2.205951   | 113.5451 | 1      | 0.0000 |
| 6         | 0.227717    | 1.209954 | 1      | 0.2713 |
| Joint     |             | 117.5492 | 6      | 0.0000 |
| Component | Kurtosis    | Chi-sq   | Df     | Prob.  |
| 1         | 1.810315    | 8.256213 | 1      | 0.0041 |
| 2         | 3.408665    | 0.974206 | 1      | 0.3236 |
| 3         | 1.577303    | 11.80706 | 1      | 0.0006 |
| 4         | 2.492475    | 1.502558 | 1      | 0.2203 |
| 5         | 17.93336    | 1300.864 | 1      | 0.0000 |
| 6         | 2.712782    | 0.481215 | 1      | 0.4879 |
| Joint     |             | 1323.885 | 6      | 0.0000 |
| Component | Jarque-Bera | Df       | Prob.  |        |
| 1         | 8.473601    | 2        | 0.0145 |        |
| 2         | 1.267182    | 2        | 0.5307 |        |
| 3         | 11.96830    | 2        | 0.0025 |        |
| 4         | 3.625092    | 2        | 0.1632 |        |
| 5         | 1414.409    | 2        | 0.0000 |        |
| 6         | 1.691169    | 2        | 0.4293 |        |
| Joint     | 1441.434    | 12       | 0.0000 |        |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

La prueba de normalidad de Jarque Bera analiza la relación entre el coeficiente de asimetría (skewness) y la curtosis de los residuos de la ecuación estimada y los correspondientes de una distribución normal, de forma tal que si estas relaciones son suficientemente diferentes se rechazara la hipótesis nula de normalidad.

| Hipótesis                            | Estadístico | Decisión   |
|--------------------------------------|-------------|--|
| $H_0$ : Los residuos son normales    | Jarque Bera | Rechace $H_0$ si el valor de la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Los residuos no son normales |             | No rechazar $H_0$ si el valor de la probabilidad es mayor que 0.05   |

El valor de probabilidad conjunta del estadístico Jarque-Bera de la Tabla E.3 indica que se rechaza  $H_0$ , ya que  $0.0000 < 0.05$  y por lo tanto los residuos no son normales.

**Tabla E.4 Prueba de heterocedasticidad de los residuos**

| Joint test:            |           |          | Chi-sq   | df         | Prob.  |
|------------------------|-----------|----------|----------|------------|--------|
|                        |           |          | 1606.170 | 1512       | 0.0455 |
| Individual components: |           |          |          |            |        |
| Dependent              | R-squared | F(72,67) | Prob.    | Chi-sq(72) | Prob.  |
| res1*res1              | 0.566306  | 1.215097 | 0.2106   | 79.28290   | 0.2602 |
| res2*res2              | 0.788839  | 3.476302 | 0.0000   | 110.4375   | 0.0024 |
| res3*res3              | 0.617491  | 1.502212 | 0.0468   | 86.44874   | 0.1177 |
| res4*res4              | 0.730785  | 2.525997 | 0.0001   | 102.3099   | 0.0109 |
| res5*res5              | 0.490735  | 0.896697 | 0.6757   | 68.70293   | 0.5883 |
| res6*res6              | 0.478378  | 0.853409 | 0.7457   | 66.97289   | 0.6455 |
| res2*res1              | 0.560701  | 1.187718 | 0.2389   | 78.49813   | 0.2805 |
| res3*res1              | 0.446368  | 0.750265 | 0.8841   | 62.49157   | 0.7805 |
| res3*res2              | 0.422971  | 0.682112 | 0.9440   | 59.21596   | 0.8598 |
| res4*res1              | 0.617736  | 1.503771 | 0.0464   | 86.48303   | 0.1172 |
| res4*res2              | 0.441905  | 0.736823 | 0.8980   | 61.86673   | 0.7971 |
| res4*res3              | 0.420621  | 0.675570 | 0.9484   | 58.88692   | 0.8667 |
| res5*res1              | 0.449137  | 0.758712 | 0.8747   | 62.87914   | 0.7699 |
| res5*res2              | 0.412095  | 0.652278 | 0.9620   | 57.69330   | 0.8898 |
| res5*res3              | 0.588457  | 1.330583 | 0.1193   | 82.38398   | 0.1889 |
| res5*res4              | 0.580355  | 1.286926 | 0.1489   | 81.24968   | 0.2133 |
| res6*res1              | 0.524677  | 1.027179 | 0.4568   | 73.45485   | 0.4302 |
| res6*res2              | 0.515865  | 0.991545 | 0.5152   | 72.22113   | 0.4705 |
| res6*res3              | 0.479595  | 0.857582 | 0.7392   | 67.14331   | 0.6399 |
| res6*res4              | 0.611777  | 1.466403 | 0.0573   | 85.64871   | 0.1298 |
| res6*res5              | 0.482546  | 0.867778 | 0.7230   | 67.55640   | 0.6264 |

Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

Un supuesto del modelo de regresión lineal es que todos los términos de errores tienen la misma varianza. Si este supuesto se satisface, entonces se dice que los errores del modelo son homocedásticos de lo contrario son heterocedásticos.

| Hipótesis                         | Estadístico   | Decisión   |
|-----------------------------------|---|--|
| $H_0$ : Residuos homocedasticos   | F y Chi = $N \cdot R^2$<br>(número de observaciones por R | Rechace $H_0$ si el valor de la probabilidad es menor o igual a 0.05 |
| $H_1$ : Residuos heterocedasticos | cuadrado)   | No rechace $H_0$ si la probabilidad es mayor que 0.05                |

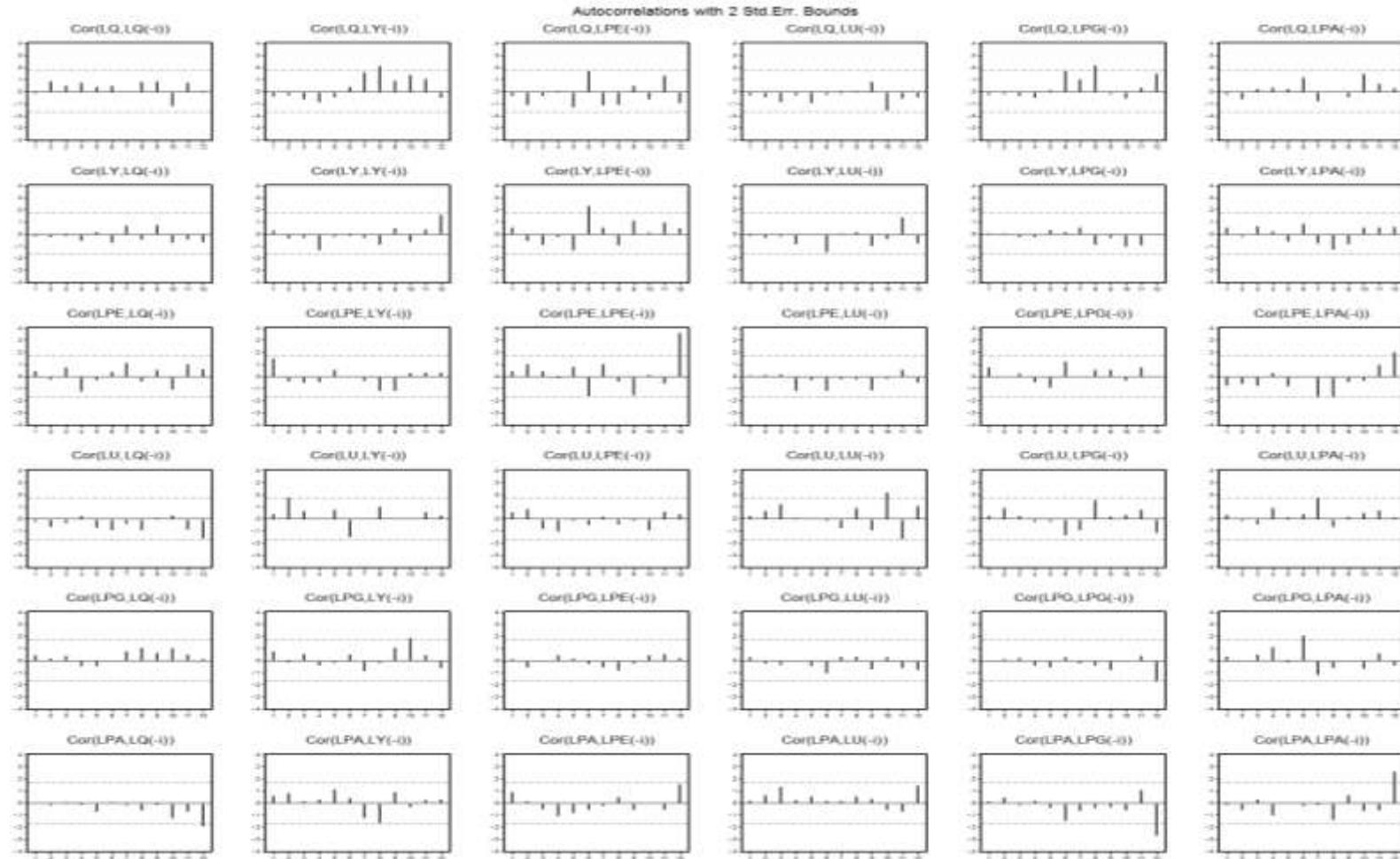
El valor de probabilidad conjunta de la Tabla E.4 indica que se rechaza  $H_0$ , ya que  $0.0455 < 0.05$  y por lo tanto los residuos son heterocedásticos.

La Figura E.1 muestra el correlograma cruzado de los residuos estimados del modelo VAR, las líneas punteadas representan aproximadamente 2 veces el error estándar asintótico de las correlaciones retardadas (el número de retardos utilizados fue de 6).

| <b>Hipótesis</b>               | <b>Estadístico</b>         | <b>Decisión</b>  |
|--------------------------------|----------------------------|--|
| $H_0$ : No hay autocorrelación | Correlograma estadístico Q | Rechace $H_0$ si el 5% o más de las barras caen fuera de los intervalos de confianza.    |
| $H_1$ : Hay autocorrelación    |                            | No rechace a $H_0$ si el 95% o más de las barras caen dentro del intervalo de confianza. |

De acuerdo con la Figura E.1, no se rechaza  $H_0$  es decir no hay autocorrelación ya que el 95% o más de las barras caen dentro del intervalo de confianza.

**Figura E.7 Correlograma cruzado de los residuos estimados del VAR**



Fuente: Diseño propio con resultados de Eviews

## Anexo F. Pruebas de cointegración de Johansen

**Tabla F.1 Prueba de traza y máximo eigenvalor**

Trend assumption: No deterministic trend (restricted constant)

Series: LQ LY LPE LU LPG LPA

Lags interval (in first differences): 1 to 2

Unrestricted Cointegration Rank Test

| Hypothesized |            | Trace     | 5 Percent      | 1 Percent      |
|--------------|------------|-----------|----------------|----------------|
| No. of CE(s) | Eigenvalue | Statistic | Critical Value | Critical Value |
| None **      | 0.376096   | 207.8373  | 102.14         | 111.01         |
| At most 1 ** | 0.335619   | 139.9041  | 76.07          | 84.45          |
| At most 2 ** | 0.249367   | 81.02262  | 53.12          | 60.16          |
| At most 3 *  | 0.155302   | 39.71790  | 34.91          | 41.07          |
| At most 4    | 0.081512   | 15.41409  | 19.96          | 24.60          |
| At most 5    | 0.021776   | 3.170353  | 9.24           | 12.97          |

\*(\*\*) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level

Trace test indicates 4 cointegrating equation(s) at the 5% level

Trace test indicates 3 cointegrating equation(s) at the 1% level

| Hypothesized |            | Max-Eigen | 5 Percent      | 1 Percent      |
|--------------|------------|-----------|----------------|----------------|
| No. of CE(s) | Eigenvalue | Statistic | Critical Value | Critical Value |
| None **      | 0.376096   | 67.93316  | 40.30          | 46.82          |
| At most 1 ** | 0.335619   | 58.88152  | 34.40          | 39.79          |
| At most 2 ** | 0.249367   | 41.30472  | 28.14          | 33.24          |
| At most 3 *  | 0.155302   | 24.30381  | 22.00          | 26.81          |
| At most 4    | 0.081512   | 12.24374  | 15.67          | 20.20          |
| At most 5    | 0.021776   | 3.170353  | 9.24           | 12.97          |

\*(\*\*) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level

Max-eigenvalue test indicates 4 cointegrating equation(s) at the 5% level

Max-eigenvalue test indicates 3 cointegrating equation(s) at the 1% level

---

Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by  $b^*S11*b=I$ ):

| LQ        | LY        | LPE       | LU        | LPG       | LPA       | C         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -34.04416 | 22.81288  | -5.558739 | 16.95620  | 4.352123  | -16.52611 | 27.66256  |
| 5.774401  | 9.803614  | -12.04073 | -6.239024 | -2.656425 | 11.31656  | -38.94253 |
| -1.810177 | -21.70190 | 5.127544  | -1.630847 | 23.75782  | -17.59447 | 214.0719  |
| 1.663800  | 11.32913  | -0.556811 | 17.19652  | 8.924553  | -33.95646 | -312.3837 |
| -4.350504 | -50.14074 | -2.542550 | -19.78376 | 22.76159  | 26.41110  | 706.8369  |
| 1.182760  | 28.92370  | -0.702562 | -6.716193 | 4.452119  | -15.25870 | -151.4255 |

---

Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):

|        |           |           |           |           |           |           |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D(LQ)  | 0.020230  | -0.010482 | -0.003835 | -0.004891 | -8.95E-05 | -0.002731 |
| D(LY)  | -0.000948 | -0.002519 | -0.000125 | -4.36E-05 | 0.002350  | 5.61E-05  |
| D(LPE) | 0.011353  | 0.017828  | -0.003977 | 0.007351  | 0.004915  | 0.002232  |
| D(LU)  | -0.000687 | 0.000101  | -0.002374 | -0.001106 | 5.89E-05  | 0.000214  |
| D(LPG) | -0.001251 | -0.000124 | -0.003504 | 0.001858  | 0.000543  | -0.000984 |
| D(LPA) | -7.76E-05 | -0.003276 | -0.001076 | 0.002103  | -0.000203 | 0.000965  |

---

1 Cointegrating Equation(s): Log likelihood 2429.738

Normalized cointegrating coefficients (std.err. in parentheses)

| LQ       | LY        | LPE       | LU        | LPG       | LPA       | C         |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.000000 | -0.670097 | 0.163280  | -0.498065 | -0.127838 | 0.485432  | -0.812549 |
|          | (0.21518) | (0.04545) | (0.09443) | (0.11425) | (0.16543) | (2.59597) |

---

Adjustment coefficients (std.err. in parentheses)

|        |           |
|--------|-----------|
| D(LQ)  | -0.688698 |
|        | (0.11495) |
| D(LY)  | 0.032263  |
|        | (0.02734) |
| D(LPE) | -0.386512 |
|        | (0.13320) |
| D(LU)  | 0.023397  |
|        | (0.01682) |
| D(LPG) | 0.042591  |
|        | (0.03215) |
| D(LPA) | 0.002643  |







## Anexo G. Modelo Vector de Corrección de Errores (VEC)

**Tabla G.11 Modelo vector de corrección de errores**

| Sample(adjusted): 2002:03 2014:02 Included observations: 144 after adjusting endpoints |   |       |        |       |        |        |
|--|---|-------|--------|-------|--------|--------|
| Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]   |   |       |        |       |        |        |
| Cointegrating Eq:  | CointEq1  |       |        |       |        |        |
| LQ(-1)   | 1.000000  |       |        |       |        |        |
| LY(-1)   | -0.663778<br>(0.21492)<br>[-3.08856]  |       |        |       |        |        |
| LPE(-1)  | 0.150000<br>(0.04540)<br>[ 3.30429]   |       |        |       |        |        |
| LU(-1)   | -0.504765<br>(0.09432)<br>[-5.35179]  |       |        |       |        |        |
| LPG(-1)  | -0.120697<br>(0.11411)<br>[-1.05771]  |       |        |       |        |        |
| LPA(-1)  | 0.490878<br>(0.16522)<br>[ 2.97100]   |       |        |       |        |        |
| C  | -0.742465   |       |        |       |        |        |
| Error Correction:  | D(LQ)   | D(LY) | D(LPE) | D(LU) | D(LPG) | D(LPA) |
| CointEq1   | -0.710460    0.026958    -0.367030    0.021604    0.037856    -0.005370<br>(0.11501)    (0.02696)    (0.13481)    (0.01670)    (0.03116)    (0.02925)<br>[-6.17730]    [ 0.99976]    [-2.72254]    [ 1.29372]    [ 1.21507]    [-0.18360] |       |        |       |        |        |
| D(LQ(-1))  | 0.022554    -0.005602    0.093674    -0.007692    -0.019719    0.012744<br>(0.09232)    (0.02164)    (0.10822)    (0.01340)    (0.02501)    (0.02348)<br>[ 0.24430]    [-0.25882]    [ 0.86562]    [-0.57381]    [-0.78848]    [ 0.54280] |       |        |       |        |        |
| D(LY(-1))  | -0.206019    -0.876278    -0.428488    0.028059    0.000513    -0.052524<br>(0.18716)    (0.04388)    (0.21938)    (0.02717)    (0.05070)    (0.04760)  |       |        |       |        |        |

|                                 |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                 | [-1.10075]                           | [-19.9698]                           | [-1.95315]                           | [ 1.03252]                           | [ 0.01011]                           | [-1.10353]                           |
| D(LPE(-1))                      | -0.121923<br>(0.06618)<br>[-1.84226] | 0.055441<br>(0.01552)<br>[ 3.57312]  | 0.376439<br>(0.07757)<br>[ 4.85259]  | -0.007998<br>(0.00961)<br>[-0.83231] | -0.024216<br>(0.01793)<br>[-1.35078] | 0.048281<br>(0.01683)<br>[ 2.86869]  |
| D(LU(-1))                       | -1.122990<br>(0.50426)<br>[-2.22703] | -0.046445<br>(0.11822)<br>[-0.39286] | 0.122749<br>(0.59107)<br>[ 0.20767]  | 0.410572<br>(0.07322)<br>[ 5.60773]  | 0.183958<br>(0.13660)<br>[ 1.34672]  | -0.086983<br>(0.12824)<br>[-0.67831] |
| D(LPG(-1))                      | 0.146193<br>(0.32293)<br>[ 0.45270]  | 0.080651<br>(0.07571)<br>[ 1.06524]  | 0.744940<br>(0.37853)<br>[ 1.96800]  | 0.165225<br>(0.04689)<br>[ 3.52380]  | -0.045281<br>(0.08748)<br>[-0.51762] | 0.047461<br>(0.08212)<br>[ 0.57793]  |
| D(LPA(-1))                      | 0.706524<br>(0.34200)<br>[ 2.06584]  | 0.089943<br>(0.08018)<br>[ 1.12172]  | -0.446960<br>(0.40088)<br>[-1.11495] | -0.031970<br>(0.04966)<br>[-0.64381] | 0.013171<br>(0.09264)<br>[ 0.14217]  | -0.063590<br>(0.08697)<br>[-0.73115] |
| C                               | 0.002484<br>(0.00407)<br>[ 0.61103]  | 0.002510<br>(0.00095)<br>[ 2.63312]  | 0.001517<br>(0.00477)<br>[ 0.31824]  | 0.001305<br>(0.00059)<br>[ 2.20979]  | 0.003809<br>(0.00110)<br>[ 3.45803]  | 0.003636<br>(0.00103)<br>[ 3.51672]  |
| R-squared                       | 0.338371                             | 0.759016                             | 0.256285                             | 0.303608                             | 0.042691                             | 0.072888                             |
| Adj. R-squared                  | 0.304317                             | 0.746612                             | 0.218005                             | 0.267764                             | -0.006582                            | 0.025169                             |
| Sum sq. resids                  | 0.221075                             | 0.012152                             | 0.303746                             | 0.004661                             | 0.016222                             | 0.014297                             |
| S.E. equation                   | 0.040318                             | 0.009453                             | 0.047259                             | 0.005854                             | 0.010922                             | 0.010253                             |
| F-statistic                     | 9.936183                             | 61.19322                             | 6.695097                             | 8.470313                             | 0.866420                             | 1.527447                             |
| Log likelihood                  | 262.1658                             | 471.0398                             | 239.2921                             | 540.0395                             | 450.2374                             | 459.3331                             |
| Akaike AIC                      | -3.530081                            | -6.431109                            | -3.212390                            | -7.389438                            | -6.142186                            | -6.268515                            |
| Schwarz SC                      | -3.365091                            | -6.266119                            | -3.047400                            | -7.224448                            | -5.977197                            | -6.103526                            |
| Mean dependent                  | 0.001117                             | 0.001721                             | 0.004346                             | 0.003173                             | 0.004131                             | 0.003462                             |
| S.D. dependent                  | 0.048339                             | 0.018778                             | 0.053442                             | 0.006841                             | 0.010886                             | 0.010385                             |
| Determinant Residual Covariance | 1.01E-22                             |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Log Likelihood                  | 2445.236                             |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Log Likelihood (d.f. adjusted)  | 2420.543                             |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Akaike Information Criteria     | -32.86866                            |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Schwarz Criteria                | -31.75498                            |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |

