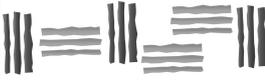




UNIVERSIDAD
PABLO DE
OLAVIDE
SEVILLA



REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA
LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (16). Páginas 216-249.
Diciembre de 2013. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
URL: <http://www.upo.es/RevMetCuant/art.php?id=85>

Elasticidades de demanda por electricidad e impactos macroeconómicos del precio de la energía eléctrica en Colombia

ESPINOSA ACUÑA, ÓSCAR A.

Grupo IMEMC, Universidad Nacional de Colombia

Correo electrónico: oaespinosaa@unal.edu.co

VACA GONZÁLEZ, PAOLA, A.

Grupo IMEMC, Universidad Nacional de Colombia

Correo electrónico: pavacag@unal.edu.co

ÁVILA FORERO, RAÚL, A.

Coalición para la Promoción de la Industria Colombiana

Universidad Nacional de Colombia

Correo electrónico: raavilaf@unal.edu.co

RESUMEN

El presente estudio analiza las elasticidades de demanda e ingreso de la energía eléctrica para uso doméstico e industrial para Colombia (2000-2011), mediante la estimación de ecuaciones de demanda por MCO. Asimismo, se estiman impactos en variables macroeconómicas que generarían variaciones en el precio de la energía eléctrica, mediante un VARX frecuentista y un VARX bayesiano (BVARX), utilizando la metodología apriorística de Sims y Zha (1998). Se concluye que la energía eléctrica es un bien normal para la industria y necesario para la demanda doméstica. Además, se tiene que frente a incrementos en el precio de la energía de aproximadamente un 20 %, el crecimiento trimestral del PIB disminuye hasta en un 1 %, estabilizándose año y medio después de ocurrir el choque positivo.

Palabras clave: energía eléctrica; elasticidades; ecuación de demanda; impactos macroeconómicos; MCO; BVARX.

Clasificación JEL: C11; C32; Q41; Q43.

MSC2010: 62P20; 91B84.

Elasticity of Electricity Demand and Macroeconomics Impacts of Electricity Price in Colombia

ABSTRACT

This study analyzes the elasticities of demand and income from electricity for domestic and industrial use, for Colombia (2000-2011), by estimating demand equations by OLS. The impacts on macroeconomic variables, which generate changes in the price of electricity, are also estimated by using a VARX Frequentist and a Bayesian VARX (BVARX) and by using the *a priori* methodology of Sims and Zha (1998). It is concluded that electricity is a normal good for the industry and a necessary good for the domestic demand. Furthermore, when energy prices increase approximately 20 %, the quarterly GDP growth falls to 1 % and it is stabilized one year and a half after the positive shock.

Keywords: electric power; elasticities; demand equation; macroeconomic impacts; GLS; BVARX.

JEL classification: C11; C32; Q41; Q43.

MSC2010: 62P20; 91B84.



1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica¹ es un bien de demanda final (dirigido a las industrias de consumo final) y de demanda intermedia (dirigido a las industrias productivas), cuyo precio en el corto y largo plazo es determinante para la evolución del comportamiento del aparato productivo (Bouille, 2004). En este sentido, la energía eléctrica en el desarrollo económico se convierte en una base que sustenta gran parte de las actividades productivas, comerciales y de fin doméstico, entre otros. Por medio del sistema de generación, distribución, transformación y comercialización, la energía eléctrica se ha vuelto vital para el abastecimiento de los diferentes sectores económicos implicados en la generación de valor agregado. De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME– (2010a), la energía eléctrica es parte integral de la actividad diaria de la sociedad y del proceso productivo de la comunidad, siendo en esta medida imperante para el crecimiento económico y el progreso social, actuando como un elemento fundamental para el logro de los objetivos de desarrollo del milenio en el país.

El propósito principal de este documento es la estimación para el período 2000-2011 de las elasticidades de demanda de energía eléctrica tanto doméstica como industrial en Colombia, y el impacto de incrementos en su precio en la macroeconomía del país, teniendo como razones para la elección de este período dos hechos fundamentales. El primero hace referencia a los importantes cambios en el mercado no regulado (García *et al.*, 2011), debido a que a partir de enero del año 2000, se disminuyó el umbral para la contratación en el mercado de agentes no regulados (estableciéndose 0,55 MWh/mes, (UPME, 2004)), lo cual trajo como consecuencia que el número de usuarios de este segmento creciera en gran medida, al pasar de 2.575 desde comienzos del año 2000 a más de 4.590 en el año 2011 (García *et al.*, 2011). El segundo hecho hace referencia al constante aumento de la cobertura de energía eléctrica (como porcentaje de hogares con servicio de energía eléctrica) que se ha venido dando en la última década, pasando del 87,6 % en el año 2000 al 96,4 %, aproximadamente, en los últimos años², resaltándose la creación del FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para las Zonas no Interconectadas), mediante la Ley 633 del año 2000 (UPME,

¹ El suministro de energía eléctrica inició en Colombia bajo un contexto comercial a finales del siglo XIX, con la constitución de la empresa privada *Electric Light Company* en Bogotá, seguido posteriormente por el desarrollo de sistemas de generación y distribución; luego, a mediados del siglo XX, se emprendió un proceso de estatización para poder ampliar la capacidad instalada y el servicio de electricidad en el territorio nacional, mediante la formación del Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico Electraguas, para fomentar la creación de empresas del sector, y de Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), para desarrollar la infraestructura de interconexión eléctrica, manteniendo este sistema hasta finales del siglo XX, donde el sector eléctrico tuvo una reforma conforme a las nuevas disposiciones de la Carta Magna de 1991 (UPME, 2003).

² Cálculos propios a partir de las estadísticas disponibles en la página del Sistema de Información Eléctrico Colombiano (<http://www.siel.gov.co/>).

2003)³ y el FAER (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas), creado por el Artículo 105 de la Ley 788 de 2002, y reglamentado con el Decreto 1122 de 2008⁴.

Para Colombia, no se encuentran estudios respecto al tema; se han abordado estudios del impacto de los precios del petróleo sobre variables macroeconómicas como el de Perilla (2010) y Sánchez (2010), sobre el impacto del producto nacional y el precio de la electricidad sobre el consumo de energía (Zapata, 2011) o sobre la relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico (Yoo y Kwak, 2009), pero no específicamente sobre los impactos macroeconómicos del precio de la energía, por lo que esta investigación es novedosa para el caso colombiano y de gran relevancia para futuras decisiones de política en la que se involucre el desarrollo y crecimiento del sector eléctrico en el país.

Dicho esto, en una segunda sección se expondrán los antecedentes históricos y regulatorios más importantes del sector, seguido de una revisión de literatura acerca de las diferentes formas de estimar las elasticidades, como de cálculo de los impactos macroeconómicos del precio de la energía. Posteriormente, se presentarán los estudios de las metodologías elegidas para la estimación, los datos a utilizar y los resultados finales obtenidos. Por último, se darán a conocer las conclusiones del documento.

2. MARCO REGULATORIO Y DINAMISMO DEL SECTOR ELÉCTRICO

La década del 2000 en Colombia se ha caracterizado por un sector minero-energético de gran envergadura que ha asumido un papel relevante en su participación en el PIB, en las exportaciones y en las cuentas fiscales de la economía nacional, contribuyendo a contrarrestar los efectos negativos de la crisis financiera al interior del país (UPME, 2010b). Dado el contexto anterior, la participación de la energía eléctrica en el PIB, con información del Banco de la República⁵, ha sido durante la primera década del siglo XXI del 2,4 % aproximadamente, con una marcada tendencia decreciente a partir del segundo lustro de esta década, debido posiblemente a la coyuntura económica internacional junto con el fenómeno del Niño⁶ y al crecimiento de otros sectores como el minero, lo que le resta participación al sector en cuestión (Figura 1).

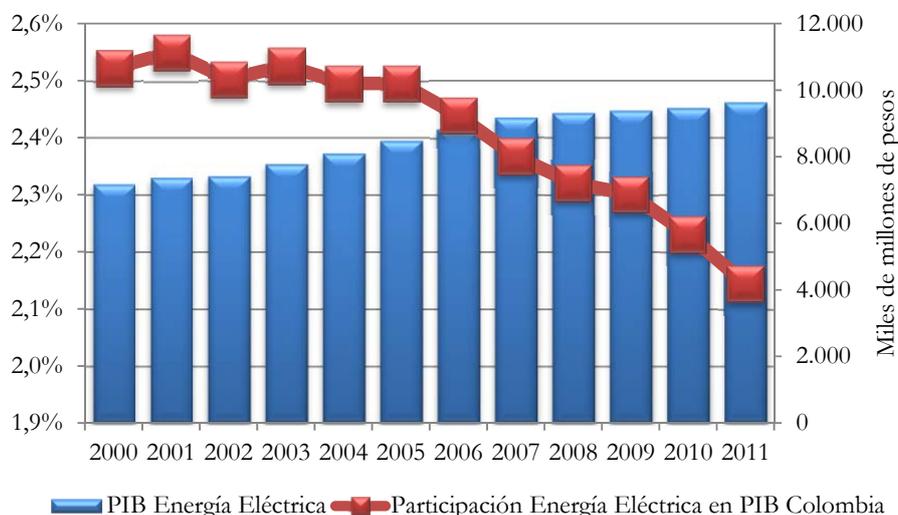
³ Teniendo como fin ayudarle a las regiones aisladas que no se encuentran dentro del Sistema Interconectado Nacional. Estos proyectos de electrificación son financiados a partir del mercado mayorista.

⁴ Siendo su objetivo “(...) *el ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las zonas rurales interconectadas, conforme con los planes de ampliación de cobertura que estructurarán cada uno de los Operadores de Red y que deberá contar con la viabilidad de la Unidad de Planeación Minero Energética*” (<http://www.minminas.gov.co/>).

⁵ Información extraída de la página web del *Banco de la República de Colombia*, sección *Series Estadísticas*, subsección *Producción, salarios y empleo*, http://www.banrep.gov.co/series-estadisticas/see_prod_salar_2005.html.

⁶ Este acontecimiento climatológico presenta por lo general periodos de altas temperaturas, reducción de lluvias y escasez de agua, implicando déficits de generación hidráulica por la reducción en la capacidad de los embalses, elevando así el costo de la energía (UPME, 2003; 2004).

Figura 1. PIB del sector de energía eléctrica y su participación en el agregado nacional (período 2000-2011)



Fuente: elaboración propia a partir de información del Banco de la República.

De igual manera, el sector⁷ ha mostrado un gran dinamismo en la primera parte de la década, con una tasa de crecimiento en generación, captación y distribución de energía eléctrica de cerca del 2,8 %, y crecimientos superiores al 4 % a mediados de la década del 2000, donde la producción y el consumo intermedio han crecido en promedio un 2,5 % y 2,2 % respectivamente durante este mismo período⁸. Aquel dinamismo también se ha hecho evidente en su articulación con el mercado internacional, al presentar un crecimiento promedio positivo en su exportación a inicios y finales de la primera década del siglo XXI, junto con un crecimiento fluctuante en las importaciones registrando un promedio de -12 % para este mismo período⁹.

De igual forma, el sector eléctrico ha generado dos diferentes pero entrelazadas dinámicas: por un lado ha contribuido al desarrollo del sector productivo del país y, por otro, un progreso social significativo por medio de la prestación del servicio de energía eléctrica, al ser considerado en

⁷ El sector eléctrico de Colombia actúa como un sistema conformado por distintas empresas encargadas de generar la energía eléctrica, transportarla, distribuirla y comercializarla a los consumidores finales categorizados éstos en residenciales, industriales y comerciales. Dentro de este sector, también se encuentran aquellas compañías encargadas de la prestación de servicios (empresas de consultoría, diseño, construcción, software, entre otros) y fabricación y comercialización de bienes conexos (como cables y conductores, piezas eléctricas, maquinaria y equipos para abastecer el consumo, y productos intermedios para la construcción de transformadores, motores, generadores, baterías, torres de energía, entre otros suministros) (Analdex y Clúster de Energía Eléctrica, 2009).

⁸ Información extraída de la página web del DANE, sección *Cuentas Nacionales*: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=84.

⁹ Información extraída de la página web del DANE, sección *Cuentas Nacionales*: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=84.

Colombia como un servicio público. Es por ello que para dar cumplimiento a lo dispuesto en la Constitución de 1991 con relación a los servicios públicos¹⁰, se ha desarrollado en las últimas dos décadas un marco jurídico para este sector por parte del Estado. Esto ha permitido su estructuración y modernización en el país, al estipular como función estatal la planeación, regulación y control del sector, con la finalidad de garantizar la eficiencia y la calidad en la prestación del servicio público, además de propender por su fortalecimiento (Sandoval, 2004). El sector se encuentra regulado principalmente por¹¹:

- La Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones¹². Esta Ley se aplica a los servicios domiciliarios de energía eléctrica, entre otros, los cuales contarán con la participación de empresas públicas, privadas y mixtas¹³.
- La Ley 143 de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones en materia energética. El Artículo 2° estipula como función del Ministerio de Minas y Energía, la regulación, planeación, coordinación y seguimiento de todas las actividades relacionadas con el servicio público de electricidad, al igual que establecer un

¹⁰ La Constitución estipula en el Artículo 365 a los servicios públicos como finalidad social del Estado; y en el Artículo 366 indica que estos servicios estarán sometidos al régimen jurídico que fije la Ley.

¹¹ También, existen otras normas gubernamentales para la regulación del sector, como: i) la Ley correspondiente por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo durante cada período de Gobierno; ii) la Ley 99 de 1993, en su Artículo 113, donde se estipula que el Gobierno Nacional procederá a crear un nuevo ente constituido como empresa industrial o comercial del Estado o como sociedad de economía mixta, el cual estará encargado de las funciones de generación, transmisión y distribución de energía; iii) el Decreto 2820 de 2010, en su Artículo 8° estipula como Competencia del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, otorgar o negar de manera privativa la licencia ambiental para los proyectos, obras o actividades en el sector eléctrico; iv) la Ley 141 de 1994 en su Artículo 56, regula las regalías recaudadas por empresas del sector; y v) el Decreto 1766 de 2012 donde se define la facturación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica.

¹² De acuerdo con el Artículo 14.25 de la Ley 142 de 1994:

“SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Es el transporte de energía eléctrica desde las redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida su conexión y medición. También se aplicará esta Ley a las actividades complementarias de generación, de comercialización, de transformación, interconexión y transmisión”.

Por medio del Artículo 23 de esta Ley se determina que las empresas de servicios públicos pueden operar en igualdad de condiciones en cualquier parte del país, sujetos a lo dispuesto en la reglamentación a lo largo del territorio. También indica que las empresas pueden desarrollar su objeto en el exterior conforme a lo estipulado en las normas cambiarias o fiscales del país. Con respecto a la importación de energía para beneficio de los usuarios en Colombia, este Artículo estipula que la obtención en el exterior no estará sujeta a restricciones o contribución alguna arancelaria o de otra índole, pero sí estará sometida a las normas cambiarias y fiscales comunes.

¹³ De igual forma, en los Artículos 5, 7 y 8, indica que: i) el asegurar la prestación de este servicio público bajo los términos de la Ley y otros reglamentos es competencia de los municipios; ii) asegurar la transmisión de energía eléctrica es competencia de los departamentos; y iii) asegurar las actividades de generación e interconexión a las redes de energía eléctrica en el país, es competencia de la Nación.

manejo eficiente y sostenible de los recursos energéticos del país, y la promoción de un buen uso de este servicio por parte de los usuarios.

En el Artículo 3°, se otorga al Estado la función de promover la libre competencia en las actividades del sector y, con esto, disuadir la competencia desleal, vigilar las situaciones de monopolio natural; garantizar los derechos y deberes de los usuarios, la protección ambiental, la cobertura en las diferentes regiones y sectores del territorio nacional, y los recursos necesarios para cubrir los subsidios otorgados a algunos usuarios. A su vez, define como objetivos del Estado: i) abastecer la demanda de electricidad de la comunidad; ii) asegurar la eficiencia, seguridad y confiabilidad en las distintas actividades del sector; y iii) asegurar los niveles de calidad y seguridad establecidos.

Bajo este marco jurídico¹⁴, la industria de energía eléctrica ha podido incrementar su eficiencia y modernizarse mediante la búsqueda de una mejora en las condiciones de prestación de su servicio público domiciliario. Además, ha permitido la constitución y organización de entidades gubernamentales, encabezadas por el Estado, las cuales se encargan de regular las actividades relacionadas con el sector eléctrico para el desarrollo de la prestación de este servicio (UPME, 2003):

- Departamento Nacional de Planeación (DNP). Mediante la elaboración de los Planes Nacionales de Desarrollo, el DNP define las metas de cobertura del servicio de electricidad. Al respecto, el Documento Conpes 3527 de 2008 estipula la Política Nacional de Competitividad y Productividad, y define al sector de minas y energía como importante para la competitividad del país por su función de provisión de energía eléctrica y de combustibles requeridos para el desarrollo de las actividades productivas, por lo que en esa medida, el DNP identifica como objetivos estratégicos: i) mantener el abastecimiento energético a precios eficientes; y ii) aumentar la cobertura de los servicios de energía eléctrica y gas combustible a precios eficientes y con operaciones ambientalmente sostenibles¹⁵ (DNP, 2008).
- Ministerio de Minas y Energía. Formula las políticas, orienta, controla y evalúa a los organismos adscritos o vinculados en los términos que señala tanto la Constitución como la

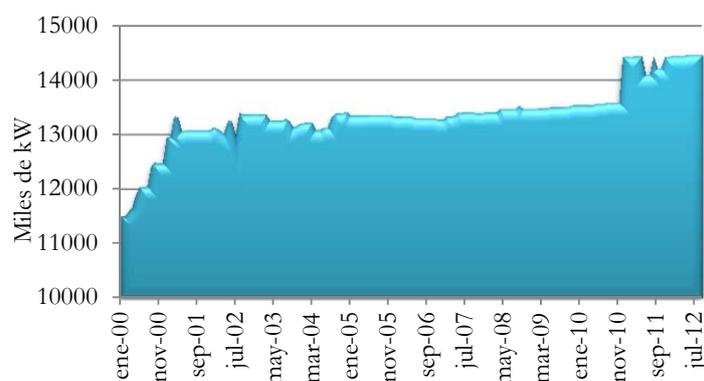
¹⁴ Esta reforma jurídica también ha generado nuevas oportunidades para la inversión extranjera en el sector (Santa María *et al.*, 2009) y ha permitido al Gobierno Nacional, una disminución de la carga fiscal, una caída de la deuda pública y una mejora del sistema tarifario aumentando su nivel de transparencia. No obstante, según Urbizondo y Rojas (2005) la regulación del sector eléctrico todavía presenta algunas fallas como: i) la interferencia del Gobierno para desviar las decisiones en favor de sus empresas; ii) la falta de sanciones ejemplarizantes a las entidades prestadoras del servicio; y iii) la falta de rapidez para solucionar casos de abuso dominante y competencia desleal, entre otros.

¹⁵ El Documento Conpes 3668 de 2010 condensa el Informe de Seguimiento a la Política Nacional de Competitividad y Productividad en conformidad con lo establecido en la Ley 1253 de 2008, en las que se define que al final e inicio de cada administración se debe efectuar este ejercicio de evaluación (DNP, 2010).

Ley. Para ello cuenta con las entidades: i) Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)¹⁶; ii) Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)¹⁷; iii) Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)¹⁸; e iv) Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE)¹⁹.

Dentro de este marco, el sector eléctrico se ha venido desarrollando, llegando a obtener, para finales de la década del 2000, un sistema energético diversificado en el que, del total de capacidad efectiva neta, las plantas hidráulicas conforman el 66,4 %, las térmicas a gas el 27,8 %, las térmicas a carbón el 5,2 %, las térmicas a combustibles líquidos el 0,06 %; la cogeneración 0,4 % y eólicas 0,1 % (UPME, 2010b). De acuerdo con XM (2012, p. 13): “La capacidad efectiva neta instalada en el SIN al finalizar el año 2011 fue 14.420 MW. (...) Comparada con la del 31 de diciembre de 2010, fue superior en el 8,5 %, debido principalmente, a la entrada en operación de la central Porce 3 con su primera unidad (180 MW) el 11 de enero, incrementándose a 370 MW el 2 de mayo, luego a 550 MW el 10 de junio para alcanzar finalmente los 660 MW el 2 de septiembre; y al aumento de la capacidad térmica en un 11,2 % debido a la entrada de flores 4 con 450 MW el 12 de agosto de 2011. En particular, la capacidad con base en gas, tuvo un notorio incremento, ya que creció de 2.478 MW en el 2010, a 3.053 MW en el 2011 (aumento del orden del 23,2 %)” (Figura 2).

Figura 2. Capacidad efectiva neta (periodo 2000-2012)



Fuente: elaboración propia a partir de información de Neón-XM²⁰.

¹⁶ Realiza el planeamiento energético integral y elabora el plan de expansión de la cobertura del servicio público de energía eléctrica, entre otros.

¹⁷ Se encarga de hacer cumplir los principios de eficiencia, equidad, transparencia, suficiencia, calidad y neutralidad en la prestación del servicio, además de resguardar la competencia en el mercado, entre otros.

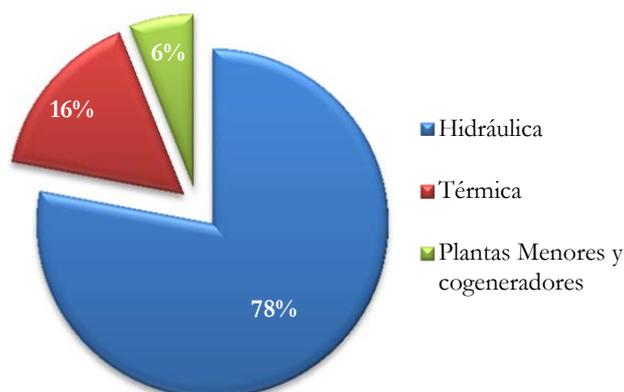
¹⁸ Controla y vigila las empresas prestadoras de servicios públicos con respecto al cumplimiento de la normatividad vigente.

¹⁹ Identifica, planea y promueve proyectos energéticos viables económicamente en Zonas No Interconectadas.

²⁰ Página web de la Compañía de Expertos en Mercados, <http://sv04.xm.com.co/neonweb/>.

Por su parte, en 2011 la generación anual de energía eléctrica en Colombia registró un crecimiento de 3 % comparado con 2010, al ubicarse en los 58.620,4 GWh, debido al crecimiento de las exportaciones, la demanda y la disponibilidad hídrica (Figura 3).

Figura 3. Generación de energía en 2011



Fuente: elaboración propia a partir de información de XM (2012).

En la actualidad el mercado eléctrico colombiano cuenta con dos segmentos: el de usuarios regulados y de no regulados. El primero de ellos contempla la demanda de pequeños consumidores residenciales (inferiores a 0,5 MW mensual), como hogares, pequeñas empresas y establecimientos comerciales, a quienes el servicio es prestado por las distribuidoras eléctricas; su estructura tarifaria²¹ es generada por la CREG²² (por normatividades con duración inicial de 5 años). Para el caso de consumo doméstico, se tiene un sistema estratificado de cobro donde los estratos 1, 2 y 3 son subsidiados por los estratos 5 y 6, siendo el estrato 4 el único que paga su verdadero consumo, bajo los condicionamientos reales (Lozano y Rincón, 2010).

En el mercado no regulado, se encuentran los agentes con consumo superior a 0,5 MW/mes en promedio durante los últimos seis meses. Estos pueden libremente negociar, transar y contratar su

²¹ El precio de la energía es fundamental para el desarrollo de un país, ya que representa la fuerza base del crecimiento industrial y por tanto una fuente necesaria para el crecimiento económico. De manera que su comportamiento tiene la relevancia de poder distorsionar decisiones sobre proyectos de inversión por su aumento de costos, implicando la no generación de empleo y valor agregado (Santa María *et al.*, 2009). Por otra parte, funciona como incentivo para los inversionistas, generando grandes flujos de capital en proyectos nacionales que permitan aumentar la producción y posible exportación de bienes y servicios nacionales.

²² Principalmente los componentes que constituyen la tarifa hacen referencia a los costos de la generación, transmisión, distribución, comercialización (componente variable), unas pérdidas reconocidas y unas restricciones que surgen en estas actividades. Para un mayor detalle al respecto ver Lozano y Rincón (2010).

suministro con el comercializador en el mercado mayorista mediante el mercado *spot* en la Bolsa de Valores²³ o contratos bilaterales de corto y largo plazo, por lo que el precio de la energía para este segmento de mercado no está regulado por la CREG, y se determina por la oferta y demanda del servicio.

Dado este contexto, a continuación se realizará una revisión de literatura sobre las diferentes metodologías existentes para estimar las elasticidades de la energía y el impacto de su precio en diferentes agregados macroeconómicos.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Con el fin de concebir las diferentes metodologías usadas en la estimación sobre elasticidad de demanda e ingreso (de corto y largo plazo) de la energía eléctrica, se realizó una juiciosa exploración bibliográfica²⁴, sobre los diferentes documentos que estudian el tema en cuestión durante los últimos años²⁵.

Dentro de los diferentes esquemas propuestos para estimar las elasticidades, se encuentran los planteados por Nerlove (1958), Deaton (1990), Seale *et al.* (1991), Berndt (1991), entre otros, donde las diferentes técnicas aplicadas para estimar las elasticidades son:

- i) Métodos de regresión múltiple a partir de sistemas lineales (Lijesen, 2007), log-lineales (Arthur *et al.*, 2012; Türkekul y Unakitan, 2011; Benavente *et al.*, 2005), log (Lijesen, 2007);
- ii) Datos panel y corte transversal (Arnberg y Bjørner, 2007; Acuña, 2008; Liddle, 2012);
- iii) Modelos de vectores autorregresivos y modelos de corrección de errores (Killian, 2008; Zachariadis y Pashourtidou, 2007);
- iv) Modelos de simulación y de equilibrio general computable (Boonekamp, 2007), entre otros.

²³ Definida mediante la Resolución CREG-24 de 1995 (Artículo 1) como un:

“Sistema de información, manejado por el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, sometido a las reglas del Mercado Mayorista, en donde los generadores y comercializadores ejecutan actos de intercambio de ofertas y demandas de energía, hora a hora, para que el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales ejecute los contratos resultantes en la bolsa de energía, y liquide, recaude y distribuya los valores monetarios correspondientes a las partes y a los transportadores”.

Para 2010 el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, presta servicios: “(...) a 48 generadores, 85 comercializadores, 11 transmisores y a 30 distribuidores (operadores de red)” (Minminas, 2011, p. 146).

²⁴ En las bases de datos, al buscar sin restricciones de año, lugar o metodología, se encontraron más de 100 artículos referentes a la estimación de elasticidades de la energía, por lo que aquí se muestran solo algunos de ellos.

²⁵ No obstante, su estudio empezó desde la década de 1950 con escritos como el de Houthakker (1951), y Fisher y Kaysen (1962). Para una revisión sobre documentos realizados en las décadas de 1960, 1970, 1980, 1990 y principios de la década del 2000, ver el artículo de Galetovic y Muñoz (2010).

Para Colombia, estos trabajos empezaron en la década de 1980, donde sus técnicas más utilizadas han sido los modelos de series de tiempo, y han coincidido en determinar la energía como un bien necesario, al obtener como resultado elasticidades precio de la demanda de corto plazo entre -0,3 y -0,8, y elasticidades ingreso de la demanda de corto plazo que oscilan entre 0,02 y 0,9. En general, los trabajos concluyen que frente a cambios en la tarifa de electricidad, los usuarios reducen el consumo de energía (Zapata, 2011) o el consumo de otros bienes para garantizar un consumo de subsistencia (Medina y Morales, 2007; Ramírez y Londoño, 2008), al considerarse un servicio público de primera necesidad con pocos sustitutos (Mendoza, 2010; Gutiérrez, 2011). Esto se observa en el nivel socioeconómico, donde los estratos más bajos poseen una elasticidad precio más inelástica que los estratos altos con respecto al patrón del consumo (Ramírez y Londoño, 2008; Maddock *et al.*, 1992). Asimismo, frente a aumentos en el ingreso, los estudios concluyen que se tiende a elevar el consumo, con mayor grado en los estratos bajos, siendo casi inalterable en estratos altos (Mendoza, 2010; Ramírez y Londoño, 2008). En la Tabla 1 se presenta un resumen de los diferentes valores encontrados en los estudios realizados para el país.

Respecto a las diferentes metodologías utilizadas en la cuantificación de impactos macroeconómicos del precio de la energía, se han aplicado modelos de vectores autorregresivos (García, 2012; Blanchard y Galí, 2007; Edelstein y Kilian, 2007; Bernanke *et al.*, 2004), de cointegración y de corrección de error (Blümel *et al.*, 2009), modelos de insumo producto (Arón, 2006), modelos de equilibrio general poskeynesianos (Alarco, 2009), modelos dinámicos neokeynesianos de política monetaria y de ciclos reales (Carlstrom y Fuerst, 2005), modelos monetarios dinámicos con competencia monopolística (Leduc y Sill, 2001), y enfoques de función de producción agregada (enfoque micro-analítico) y de multivariante macroeconómico (modelo de simulación) para examinar los impactos (Jones y Leiby, 1996), entre otros.

Tabla 1. Trabajos específicos para Colombia

Documento	Metodología econométrica	Período de análisis	Cobertura	Elasticidades de demanda (rango o promedio)		Elasticidades ingreso (rango o promedio)	
				Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo
Econometría (1982)	Series de tiempo y corte transversal.	1965-1978	Regional y sectorial	---	(-1,564; -4,618)	---	(-0,001; 0,841)
APEX (1985)	Series de tiempo.	---	Sectorial	-0,032	-0,09	0,433	1,25
Pérez y Acosta (1987)	Series de tiempo y corte transversal.	1972-1983	Regional y sectorial	-0,12	-0,55	0,9	---
Ramírez (1991)	MCP con efectos fijos y aleatorios.	---	Regional	(-0,024; -0,709)	---	(0,021; 0,484)	---

Vélez <i>et al.</i> (1991)	Series de tiempo para la estimación de la demanda y mínimos cuadrados no lineales para las elasticidades.	1970-1983	Regional (Medellín, Bogotá)	(-0,10; -0,12)	---	0,23	---
Maddock <i>et al.</i> (1992)	Método de Hausman (estimación de función log con un error aditivo ²⁶ y distribuido normalmente).	Mayo-junio 1986	Regional (Medellín) Estratos 1-2 Estratos 3-4 Estratos 5-6 Estratos Total	-0,166 -0,508 -0,791 -0,466	---	0,356 0,200 0,517 0,301	---
Medina y Morales (2007)	Metodología de alternativa discreta continua, con simulación Montecarlo.	2003	Regional (Medellín, Bogotá, Cali, Bucaramanga, Pasto, Pereira, Cartagena y Barraquilla)	-0,45	---	0,31	---
Ramírez y Londoño (2008)	Método generalizado de momentos.	2003-II Trim. - 2006-IV Trim.	Regional (Dpto. Antioquia) Estrato 1 Estrato 2 Estrato 3 Estrato 4 Estrato 5 Estrato 6 Promedio	(-0,043; -0,038) (-0,185; -0,172) (-0,458; -0,445) (-0,664; -0,565) (-0,821; -0,436) (-0,663; -0,454) -0,36	-0,11 -0,35 -0,75 -0,96 -1,05 -0,78 ---	(0,772; 0,913) (1,194; 1,335) (0,562; 0,678) (-0,02; 0,572) --- --- 0,72	2,34 2,51 1,02 0,43 --- --- ---
Mendoza (2010)	Panel balanceado con análisis de regresión.	1998-2006	Regional (Santa Marta)	-0,007	---	0,52	---
Gutiérrez (2011)	Método generalizado de momentos, con desviaciones ortogonales.	Enero de 2005 - marzo de 2010	Nacional	-0,067	-0,111	---	---
Zapata (2011)	Series de tiempo.	Enero de 2003 - agosto de 2010	Nacional	-0,12	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

²⁶ De acuerdo con Maddock *et al.* (1992, pp. 351-352): “Our specification of an additive error in this form allowed us to use least squares in the loss function and avoid complicated integral expressions of the sort considered in Hausman (1985a) and suggested in his (1985b) article”.

4. METODOLOGÍA

4.1 Elasticidades de demanda

Para estimar las diferentes elasticidades, se plantea una ecuación de demanda de la energía doméstica a nivel nacional, incluyendo entre sus variables explicativas factores que influyen en su comportamiento, como: i) incremento del número de usuarios; ii) aumento del ingreso real por familia; iii) cambios en el precio real del bien energético en cuestión (electricidad para este caso), y iv) cambios en el precio de bienes sustitutos cercanos (Bouille, 2004). Con base en ello, se plantea el siguiente modelo de demanda doméstica para Colombia²⁷:

$$QED_{Dom} = \beta_{11} + \beta_{12}PTE_{t-1} + \beta_{13}IRPC_{t-2} + \beta_{14}QED_{Dom,t-1} + \beta_{15}PGN_{t-1} + u_t,$$

donde QED_{Dom} , tomada como variable exógena, hace referencia a la cantidad de demanda de energía doméstica a nivel nacional; y como endógenas se define PTE_{t-1} como el precio tarifario de la energía²⁸ (rezagado un período), $IRPC_{t-2}$ el ingreso real per-cápita del consumidor del servicio (rezagado dos períodos), $QED_{Dom,t-1}$ la cantidad de demanda de energía doméstica (rezagada un período), PGN_{t-1} el precio del bien sustituto²⁹ (rezagado un período), y u_t las innovaciones.

Por otra parte, para el consumo industrial de energía los factores determinantes son: i) incremento del número de firmas que demandan el servicio; ii) aumento del producto real por empresa; iii) cambios en el precio real del bien energético en cuestión; y iv) cambios en el precio de bienes sustitutos cercanos (Santa María *et al.*, 2009; UPME, 2004). Por lo que la ecuación a estimar se comporta así:

$$QED_{Ind} = \beta_{21} + \beta_{22}PBE_{t-1} + \beta_{23}IRPI_{t-1} + \beta_{24}QED_{Ind,t-1} + \beta_{25}PGN_{t-1} + u_t,$$

donde QED_{Ind} es la cantidad de demanda industrial de energía en todo el país, PBE_{t-1} es el precio de la energía que se cotiza en Bolsa, $IRPI_{t-1}$ el índice de producción real de la industria manufacturera en Colombia (tomada como *proxy* del rendimiento económico de las industrias), $QED_{Ind,t-1}$ la cantidad de demanda industrial de energía, y PGN_{t-1} el precio del bien sustituto, donde todas las variables endógenas están rezagadas un periodo.

Estos modelos, como afirman Guzmán *et al.* (2011, p. 144), están sustentados:

²⁷ Esta ecuación formulada es similar a la expuesta por Guzmán *et al.* (2011), incluyendo la variable del bien sustituto, que permite estimar mediante su parámetro la elasticidad precio cruzada.

²⁸ Para esta variable se tomará como proxy el precio Bolsa de la energía, debido a que el precio tarifario de energía se encuentra construido solo desde 2004 por la Superintendencia de Servicios Públicos (<http://www.superservicios.gov.co/>).

²⁹ El gas natural será el bien sustituto a tener en cuenta, dada su importancia como fuente energética, basándose en los diferentes informes de la UPME donde se indica su uso y relevancia en la economía nacional.

“(…) teóricamente en el modelo de rezagos distribuidos y autorregresivo de Nerlove y el modelo de ajuste de existencias o de ajuste parcial (Gujarati, 2004), así como en evidencia empírica de trabajos desarrollados por Taylor (1979); Smith (1980); Lakshmanan y Anderson (1980); Wills (1981); Huq y Dynes (1982) y Hondroyiannis (2004)”.

Su estimación se hará mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), técnica estadística robusta que permite hallar los Mejores Estimadores Lineales Insesgados (MELI), cumpliendo con todos los supuestos del teorema de Gauss-Markov³⁰ y asegurando estimadores óptimos con varianza mínima. Se aplicarán pruebas de raíz unitaria sobre los residuales para estimar si es una regresión espuria, a la vez que se testearán otras pruebas para asegurarse de la confiabilidad de los parámetros.

4.2 Impactos macroeconómicos

Respecto a la estimación de los choques en el precio de la energía eléctrica sobre el PIB, se sigue el artículo de García (2012), con algunos cambios que hacen referencia a la especificidad de la economía colombiana, por lo que se estimará un modelo de vectores autorregresivos con variables exógenas (Bierens, 2004), estructurado de la siguiente manera:

$$Y_t = \mu + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + B_1 X_{t-1} + B_2 X_{t-2} + \dots + B_q X_{t-q} + D_t + \varepsilon_t$$

donde, Y_t es un vector de observaciones de k variables en el tiempo t , con $t = 1, 2, \dots, k$; μ es un vector de constantes de dimensión $k \times 1$; A_i hace referencia a los parámetros que acompañan los rezagos de la propia variable (dinámica propia) y de las demás variables (dinámica cruzada) (Quilis, 2004); B_i son los coeficientes que acompañan a las variables exógenas que solo dependen de sus rezagos, es decir solo poseen dinámica propia; D_t son las variables dummy centradas que contemplan la estacionalidad de las series, y ε_t son las innovaciones.

Dicho esto, cada ecuación se podría expresar como:

³⁰ Este teorema afirma que la estimación por mínimos cuadrados del modelo teórico de regresión es óptima y no solo en el sentido de que hace mínimo el módulo del vector de residuos, sino también en lo que se refiere a la variabilidad de la estimación del parámetro desconocido β . A continuación se dan los supuestos de Gauss-Markov para la regresión lineal (Gujarati, 2004; Greene, 2011):

1. Debe ser lineal en los parámetros.
2. El modelo debe estar correctamente especificado.
3. El valor de la media condicional es cero y no existe correlación entre las perturbaciones.
4. No hay multicolinealidad perfecta.
5. Hay homocedasticidad en u_i .
6. Normalidad en los u_i .
7. La covarianza entre u_i y x_i es cero.
8. El número de observaciones es mayor que el de parámetros.
9. Las x son no estocásticas, es decir, son fijas en muestras repetidas.

$$Y_{i,t} = \mu_i + A_{i,1}^1 Y_{1,t-1} + \dots + A_{i,k}^1 Y_{k,t-1} + A_{i,1}^2 Y_{1,t-2} + \dots + A_{i,k}^2 Y_{k,t-2} + \dots + A_{i,1}^p Y_{1,t-p} + \dots + A_{i,k}^p Y_{k,t-p} + B_{i,1}^1 X_{1,t-1} + B_{i,2}^1 X_{2,t-2} + \dots + B_{i,p}^1 X_{k,t-p} + D_t + \varepsilon_{it}$$

Es así como $A_{i,j}^z$ denota para la i -ésima ecuación el parámetro que hace referencia a la j -ésima variable del rezago z . Para el presente estudio, las variables incluidas en el VARX a estimar, hacen referencia a su importancia como indicadores fundamentales en el ámbito de los sectores macroeconómico, financiero, externo y energético, siendo:

$$Y_t = \begin{bmatrix} PIB \\ \% Desempleo \\ IPC \\ Tasa de interés \\ Índice de tasa de cambio real \\ Precio de la Energía \\ IGBC \\ Índice de producción industrial \\ Demanda total de Energía \\ \% Aporte hídrico \\ \% Aporte termodinámico \\ Inv. Nac. Servicios \end{bmatrix}, \quad X_t = \begin{bmatrix} PIB E. U. \\ Precio WTI \\ PIB Venezuela \\ IED \\ Volumen caudal \end{bmatrix},$$

$\mu = [\text{Vector de constantes del modelo}]$, $D_t = [\text{Dummies centradas}]$, y

$\varepsilon_t = [\text{Innovaciones del sistema}]$, donde:

$$E(\varepsilon_{j_t}) = 0, \forall t, \quad E(\varepsilon_{j_t} \varepsilon_{j_{t-i}}) = 0, \forall t \neq t-i,$$

$$E(\varepsilon_{j_t} | \varepsilon_{j'_t}) = 0, \forall j \neq j', \text{ con } j \wedge j' = 1, \dots, 14., \quad \varepsilon_{j_t} \sim N(0, \sigma_j^2) \quad \text{y}$$

$$\text{Var}(\varepsilon_{i_t}) = \Sigma_\varepsilon, \forall t.$$

Esta técnica estadística aplicada tiene su inicio en la macroeconomía empírica de Sims (1980) a mediados de la segunda mitad del siglo XX, al plantearse una línea de investigación para crear una alternativa a las metodologías comunes en su época, con la que se pudiera especificar sistemas mínimamente restringidos en los que las variables económicas asumieran un tratamiento endógeno (Lütkepohl, 2005). A partir de allí, nacen los vectores autorregresivos, técnica que en el transcurso de los años ha sido usada comúnmente en la literatura relacionada con el estudio de impactos de diferentes variables agregadas de gran relevancia para el crecimiento económico.

No obstante, al ser modelos no parsimoniosos (disminuyendo los grados de libertad de los estimadores (Sims, 1980)), se puede incurrir en problemas de sobre-identificación y correlación en sus regresores (Quilis, 2004). Una de las posibles propuestas a este inconveniente es el enfoque bayesiano iniciado por autores como Litterman (1979; 1984), Todd (1984), y Doan, Litterman y Sims (1984). Este tipo de técnicas en las series multivariadas de tiempo plantean según Quilis (2004, pp. 4-5): “(...) restricciones de naturaleza probabilística orientadas a mejorar la calidad de

la estimación y de las predicciones”. Así, debido a que tienen fundamentos no basados en la teoría económica y son naturalmente ateóricos, se les denomina aproximaciones *a priori* (existiendo diferentes análisis como el de Litterman-Minessota, Brown, Fearn y Vannucci, Sims y Zha, entre otros), al ser nociones de tipo netamente estadístico.

4.2.1 Enfoque bayesiano³¹

Formalmente, si se tiene a una matriz de datos denominada \mathbf{Y} , y $\boldsymbol{\theta}$ se toma como un vector de parámetros del modelo, su representación bayesiana es $\mathbf{p}(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y}) = [\mathbf{p}(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\mathbf{p}(\boldsymbol{\theta})(\mathbf{p}(\mathbf{y})^{-1})]$, donde $\boldsymbol{\theta}$ simboliza una variable aleatoria expresándose bajo la misma regla de probabilidades (dado los datos \mathbf{y} , qué se sabe sobre $\boldsymbol{\theta}$), por lo que el término $\mathbf{p}(\mathbf{y})$ se puede obviar. El término $\mathbf{p}(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y})$ hace referencia a la función de densidad *a posteriori*; $\mathbf{p}(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})$ es la función de densidad de las variables dados los parámetros, siendo esta la función de verosimilitud; y $\mathbf{p}(\boldsymbol{\theta})$ se le conoce como la función de densidad *a priori*, independiente de los datos.

Dicho esto, el método bayesiano, al suponer que los parámetros ($\boldsymbol{\theta}$) son variables aleatorias comportadas bajo una distribución normal multivariada con conocimiento de su media ($\boldsymbol{\theta}^*$) y matriz de covarianzas ($V_{\boldsymbol{\theta}}$), su densidad *a priori* puede ser descrita como:

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\theta}) = (2\pi)^{-\frac{k^2 p}{2}} |V_{\boldsymbol{\theta}}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{(\boldsymbol{\theta}-\boldsymbol{\theta}^*)V_{\boldsymbol{\theta}}^{-1}(\boldsymbol{\theta}-\boldsymbol{\theta}^*)}{2}\right],$$

donde \mathbf{k} , es el número de variables de estudio, y \mathbf{p} es el número de rezagos óptimos del modelo. Para el proceso gaussiano la función de verosimilitud resulta ser:

$$\mathbf{L}(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta}) = (2\pi)^{-\frac{kT}{2}} |I_T \otimes \Sigma|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{(\mathbf{Y} - (\mathbf{X} \otimes I_k)\boldsymbol{\theta})'(I_T \otimes \Sigma^{-1})(\mathbf{Y} - (\mathbf{X} \otimes I_k)\boldsymbol{\theta})}{2}\right]$$

A su vez, la función *a posteriori* es:

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y}) \propto \exp\left[-\frac{(\boldsymbol{\theta} - \bar{\boldsymbol{\theta}})' \bar{\Sigma}_{\boldsymbol{\theta}}^{-1}(\boldsymbol{\theta} - \bar{\boldsymbol{\theta}})}{2}\right]$$

Sabiendo que la media ($\bar{\boldsymbol{\theta}}$), y matriz de covarianza ($\bar{\Sigma}_{\boldsymbol{\theta}}$) de la distribución *a posteriori* son respectivamente:

$$\bar{\boldsymbol{\theta}} = [V_{\boldsymbol{\theta}}^{-1} + (\mathbf{X}'\mathbf{X} \otimes \Sigma^{-1})]^{-1} [V_{\boldsymbol{\theta}}^{-1}\boldsymbol{\theta}^* + (\mathbf{X}' \otimes \Sigma^{-1})\mathbf{Y}]$$

$$\bar{\Sigma}_{\boldsymbol{\theta}} = [V_{\boldsymbol{\theta}}^{-1} + (\mathbf{X}'\mathbf{X} \otimes \Sigma^{-1})^{-1}]$$

Es por ello que, desde este enfoque de análisis, la información *a priori* tiene como fundamentos básicos que: i) los rezagos más recientes contienen mayor información sobre la evolución futura de

³¹ Esta parte del documento se basa en Jaramillo (2009).

la serie; ii) los rezagos de una serie contienen más información sobre su comportamiento que los rezagos de otras variables; y iii) la mejor predicción de una serie es su valor presente (Ballabriga *et al.*, 1998; Sims y Zha, 1998); teniendo así por objetivo final, reducir el riesgo de sobreajuste sin reducir la generalidad de la representación del modelo.

Para este escrito se tomará la aproximación *a priori* de Sims y Zha (1998), que “*utiliza ponderadores a la información prior que es gobernada por siete hiper-parámetros para la matriz de varianzas y covarianzas de θ , que se asume diagonal (...)*” (Jaramillo, 2009, p. 109). Estos hiper-parámetros que dependen del primer y segundo momento *a priori* de los coeficientes del modelo, son definidos en la Tabla 2. Luego, hecho el análisis de la información, al realizar el ejercicio de calibración y basándose en estudios para la economía colombiana como el de Zárate *et al.* (2012), en la estimación del modelo se usaron los siguientes valores: $\lambda_0 = 0,5$, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_3 = 1$, $\lambda_4 = 2$, $\lambda_5 = 2$, $\mu_5 = 0$, $\mu_6 = 0$, $v = 4$.

Tabla 2. Interpretación de los hiper-parámetros de la *prior* de Sims y Zha

Parámetros	Interpretación	Valores
λ_0	Estrechez (<i>tightness</i>) global de la <i>prior</i> (descuento de la escala <i>a priori</i>).	[0,1]
λ_1	Desviación estándar de la <i>prior</i> alrededor de los parámetros AR(1).	[0,1]
λ_3	Decaimiento de rezagos.	> 0
λ_4	Desviación estándar o estrechez del intercepto, controlando el ajuste de la <i>prior</i> a las constantes.	> 0
λ_5	Desviación estándar o estrechez alrededor de los coeficientes de las variables exógenas.	> 0
μ_5	Suma ponderada <i>a priori</i> de los coeficientes, controlando a <i>prior</i> raíz unitaria.	≥ 0
μ_6	Observaciones <i>dummy</i> iniciales o desfase <i>a priori</i> , controlando a <i>prior</i> cointegración.	≥ 0
v	Grados de libertad <i>a priori</i> .	> 0

Fuente: elaboración propia a partir de Zárate *et al.* (2012) y Jaramillo (2009).

5. DATOS

La periodicidad de análisis para las dos ecuaciones de demanda es mensual y para los modelos multivariados trimestral, todos comprendidos entre enero del 2000 y diciembre del 2011. Todas las variables de medición monetaria tienen como base el año 2005 y las que corresponden a Productos

Internos Brutos están desestacionalizadas³². En la Tabla 3 se muestran las estadísticas descriptivas de los datos utilizados. En las gráficas del Anexo 2 se muestran las diferentes variables en niveles. Es de resaltar la evolución de los precios Bolsa de la Energía desde principios del siglo XXI, debido a la rebaja en los límites de demanda obligatorios para poder estar en el mercado no regulado, generando que los precios de los contratos tuvieran una tendencia creciente como afirma García *et al.* (2011), a razón del aumento de demanda por el incremento de usuarios en ese tipo de mercado eléctrico. Como es de esperar, tanto la demanda total de energía, la regulada, la no regulada y el índice real de producción manufacturera han venido en aumento.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de las series utilizadas en las diferentes estimaciones

Modelo	Serie ³³	Fuente	Media	Desv. estándar	Mínimo-Máximo
			En niveles		
MCO (Dom.)	Demanda regulada ³⁴ (en GWh).	XM	2.844,479	232,548	2.364,415 – 3.258,843
	Precio Bolsa de la Energía Eléctrica (\$/kWh).	Superintendencia de Servicios Públicos	78,703	34,914	32,300 – 201,090
	Ingreso per cápita del consumidor del servicio ³⁵ .	Banco de la República	685.576,442	77.240,911	588.256,413 – 822.317,112
	Precio del gas natural (\$/KPC ³⁶).	Ecopetrol	2,503	1,307	0,767 – 5,812
MCO ³⁷ (Ind.)	Demanda no regulada ³⁸ (en GWh).	XM	1.250,765	222,625	733,495 – 1.604,666
	Índice real de producción manufacturera.	Banco de la República	102,834	14,043	73,294 – 130,412

³² Para los crecimientos del PIB de los diferentes países, se hace referencia a la tasa de crecimiento de un trimestre respecto al mismo trimestre del año anterior.

³³ Las variables que se indican en %, en la tabla se encuentran como fracción de una unidad (1), representando 1 el 100 %.

³⁴ Tomada como proxy de la demanda doméstica.

³⁵ Esta información se encuentra anual, por lo que se procedió a mensualizar teniendo en cuenta que esta variable no tiene cambios drásticos en el corto plazo y su comportamiento no es tan variable (para conocer el método matricial utilizado ver el Anexo 1).

³⁶ Miles de pies cúbicos.

³⁷ En este modelo también se incluye el precio Bolsa de la energía eléctrica (\$/kWh) y el precio del gas natural (\$/KPC), de manera que sus estadísticas son las que están dadas en el modelo MCO (Dom.).

³⁸ Tomada como proxy de la demanda industrial.

Modelo	Serie	Fuente	Media		Desv. estándar		Estacionariedad ³⁹	
			Nivel	Crec.	Nivel	Crec.	Nivel	Crec.
VARX y BVARX	Producto Interno Bruto de Colombia ⁴⁰ (en miles de millones de \$).	DANE	94.982,208	0,104	32.443,153	0,029	NO	SÍ (3)
	Desempleo ⁴¹ (%).	DANE	0,129	-0,006	0,019	0,104	SÍ (1,2)	SÍ (1,2,3)
	IPC	DANE	101,313	0,057	17,994	0,002	SÍ (1,3)	NO (3)
	Tasa de interés de colocación ⁴² (%).	Banco de la República	0,136	-0,012	0,028	0,077	NO (3)	SÍ (2,3)
	Índice de tasa de cambio real (ITCR)	Banco de la República	116,455	-0,003	10,810	0,037	NO	SÍ (1,2,3)
	Precio Bolsa de la Energía Eléctrica (en \$/kWh).	XM	78,703	0,044	33,582	0,225	NO (3)	SÍ (1,2,3)
	IGBC (en puntos).	Banco de la República	6760,940	0,054	4.809,270	0,118	NO	SÍ (1,2,3)
	Índice real de producción manufacturera.	Banco de la República	102,834	0,037	13,467	0,054	SÍ (1,3)	NO
	Demanda total de Energía (en GWh).	XM	12.449,800	0,027	1.268,050	0,015	SÍ (2,3)	SÍ (1,2,3)
	Aporte hídrico (%).	XM	0,753	0,003	0,065	0,084	SÍ (1,3)	SÍ (1,2)
	Aporte termodinámico (%).	XM	0,204	0,026	0,070	0,247	SÍ (1,3)	SÍ (1,2)
	Inversión Extranjera Directa (en millones de US\$).	Banco de la República	1.464,120	0,282	1.056,960	1,023	SÍ (1,2,3)	SÍ (1,2,3)
	Inversión nacional de servicios públicos en el extranjero (en millones de US\$).	Banco de la República	57,055	5,827	157,454	47,191	SÍ (1,2)	SÍ (2,3)

³⁹ En estas dos columnas se indica si las series son estacionarias a un nivel de significación del 5 %. Para ello se aplican tres tests: (1) Dickey Fuller “DF”, (2) Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin “KPSS”, y (3) Phillips-Perron “PP”. Se toma la decisión de afirmar que son estacionarias si al menos en dos de las pruebas anteriores existe evidencia estadística para afirmar que no hay raíz unitaria (entre paréntesis se encuentran las pruebas que dieron estacionariedad, de acuerdo con la enumeración mencionada a inicios de este inciso).

⁴⁰ La serie se encuentra desde el año 2000, por lo que para hallar su tasa de crecimiento, se debió estimar los valores de 1999, mediante un modelo ARIMA (11,1,11), en el cual sus residuales tuvieron un comportamiento de ruido blanco.

⁴¹ Con la nueva metodología aplicada por el DANE para medir el desempleo, éste se encontró sólo desde el año 2001 al 2011; para los datos faltantes, se estimó una modelo ARIMA (1,1,4), donde sus residuales se comportaron bajo los supuestos de ruido blanco.

⁴² La tasa de colocación del Banco de la República se calcula como el promedio ponderado por monto de las tasas de crédito de consumo, preferencial, ordinario y tesorería para los días hábiles de cada mes.

Volumen embalse (nacional, en GWh) ⁴³ .	XM	34.928,290	4.964,128	0,019	0,165	SÍ (1,2,3)	SÍ (1,2,3)
Producto Interno Bruto de EE.UU. (en billones “norteamericanos” de US\$).	Bureau of Economic Analysis (BEA)	12.437,500	0,018	745,896	0,020	NO	SÍ (1,3)
Precio del petróleo referencia WTI (en US\$).	Ecopetrol	57,133	0,040	26,993	0,145	NO (3)	SÍ (1,2,3)
Producto Interno Bruto de Venezuela ⁴⁴ (en millones de bolívares).	Banco Central de Venezuela	12.130,142	0,037	2.161,800	0,091	SÍ (1,2,3)	SÍ (1,3)

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, tanto el aporte hídrico como el termodinámico para la generación de energía eléctrica, han permanecido en un intervalo relativamente constante, entre un 68 %-84 % y un 10 %-30 %, respectivamente. Solo se presentó un período atípico de dos trimestres (2009Q1 y 2010Q4) donde el aporte hídrico disminuyó a niveles del 50 % y el aporte termodinámico aumentó a un 45 % en promedio. Con respecto al nivel de embalse, el cual depende primordialmente de factores netamente exógenos como las precipitaciones fluviales, ha variado sobre un promedio histórico de 34.928.290,74 GhW por trimestre.

En referencia a las variables macroeconómicas, el PIB de los tres países tiene en común el choque negativo entre 2008-2009 causado por la crisis financiera internacional que incidió en sus tasas de crecimiento. Por su parte, el índice de precios al consumidor ha tenido un comportamiento estable, con tasas de crecimiento no tan variables, representando una inflación menor a dos dígitos⁴⁵. La IED ha tenido una tendencia creciente, aunque con alta volatilidad, al igual que el índice general de la Bolsa de Valores de Colombia (IGBC), principalmente en el período de la crisis y post-crisis (2007-2009).

La inversión nacional en servicios públicos en el extranjero no presenta ninguna tendencia, sin embargo ha aumentado sus montos en el transcurso del tiempo. Las variables con tendencia a la baja son: i) la tasa de interés de colocación (con un período al alza en la fase de la crisis ya

⁴³ Entendida como la reserva de energía de todo el sistema nacional de embalses de acuerdo con la cantidad de agua almacenada en los mismos.

⁴⁴ Esta serie se encontraba a precios constantes de 1997, por lo que se tuvo que buscar la serie de índice de precios al consumidor, y a partir de esta, realizar la transformación a precios constantes base 2005.

⁴⁵ Regulada bajo el enfoque de política de Inflación Objetivo ejecutado por el Banco de la República.

mencionada); ii) el desempleo (de órdenes del 16 % al 11 % en promedio); y iii) el índice de tasa de cambio real (debido a la constante apreciación del peso colombiano en los últimos años).

Para la siguiente sección, que corresponde al cálculo y evaluación de los modelos, se utilizarán las variables en niveles para las ecuaciones de demanda; y para la estimación de los sistemas multivariados se utilizarán las tasas de crecimiento, donde todas son estacionarias a un nivel de significación del 5 % (Tabla 3).

6. ESTIMACIÓN Y RESULTADOS

Los coeficientes estimados del modelo correspondiente a demanda de energía doméstica y sus pruebas sobre los residuales, se encuentran en las Tablas 4 y 5, respectivamente:

Tabla 4. Estimación de parámetros del modelo de demanda de energía doméstica

Parámetro	Valor	Desviación estándar	P-valor
β_{11}	1.022,808	180,2545	0,0000
β_{12}	-0,663244	0,312038	0,0335
β_{13}	0,002846	0,000380	0,0000
β_{14}	-0,056066	0,085410	0,5126
β_{15}	-8,928841	15,98748	0,5774

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Pruebas sobre residuales

Prueba	P-valor
Test de heterocedasticidad	
White	0,2390
Glejser	0,7964
Test de autocorrelación	
Breusch-Godfrey	0,2275
Test de normalidad	
Jaque Bera	0,82

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la ecuación de demanda industrial⁴⁶, sus resultados se encuentran en las Tablas 6 y 7.

⁴⁶ Para la estimación de este modelo, se suavizaron las variables PBE_{t-1} y $QED_{Ind,t-1}$, mediante el filtro de Hodrick y Prescott (con un $\lambda = 14.400$), debido a que la estimación con las variables sin suavizar generaba problemas en los residuales.

Tabla 6. Estimación de parámetros del modelo de demanda de energía industrial

Parámetro	Valor	Desviación estándar	<i>P-valor</i>
β_{21}	-124,6860	31,31590	0,0001
β_{22}	-0,475169	0,268078	0,0785
β_{23}	3,085837	0,447035	0,0000
β_{24}	0,890068	0,036722	0,0000
β_{25}	-5,051685	4,376788	0,2504

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Pruebas sobre residuales

Prueba	<i>P-valor</i>
Test de heterocedasticidad	
White	0,16
Glejser	0,09
Test de autocorrelación	
Breusch-Godfrey	0,29
Test de normalidad	
Jaque Bera	0,14

Fuente: elaboración propia.

Los *p-valores* arrojados en los dos modelos afirman que los residuos cumplen con los supuestos de ruido blanco, dando así confiabilidad a los resultados obtenidos. Asimismo, se realiza la prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller sobre los residuales de los modelos, comprobándose que no son estimaciones espurias (*p-valor* de 0,29 y 0,54 para la demanda doméstica e industrial respectivamente). En la Tabla 8 se presenta un resumen con las elasticidades calculadas.

Tabla 8. Elasticidades de corto y largo plazo⁴⁷ 2000-2011

	Elasticidad precio de la demanda		Elasticidad ingreso de la demanda	
	Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo
Energía doméstica	-0,663244 (β_{11})	-1,969509	0,002846 (β_{21})	0,008451
Energía industrial	-0,475169 (β_{12})	-0,905375	3,286153 (β_{22})	6,261354

Fuente: elaboración propia.

Se observa que los signos de las dos ecuaciones estimadas para los consumos de energía eléctrica doméstica e industrial, se comportan de acuerdo a los fundamentos de la teoría económica.

⁴⁷ Las elasticidades de largo plazo se calcularon a partir de las elasticidades de corto plazo divididas por su respectivo coeficiente de ajuste (Gujarati, 2004; Guzmán *et al.*, 2011).

6.1 Elasticidades de corto plazo

Al observar los coeficientes estimados para corto plazo, que miden los cambios de magnitud de la demanda de energía ante los cambios en las variables explicativas del modelo de regresión, se encuentra, *ceteris paribus*, que para el mercado de demanda doméstica de la energía el valor de la elasticidad precio calculado es de -0,66, lo que indica que el servicio de la energía eléctrica en Colombia es inelástico, es decir, que la cantidad demandada por los hogares de todo el país disminuiría en 0,66 %, si el precio de la tarifa eléctrica se incrementa en un 1 %. A su vez, la elasticidad ingreso, afirma que el consumo de este servicio en los hogares aumentaría en 0,002 %, si el ingreso per cápita aumenta en 1 %, catalogándose así, como un servicio de carácter necesario (Tabla 8). En la demanda industrial del servicio de energía, su elasticidad indica que si el precio aumenta en 1 %, la cantidad demandada caerá en 0,48 %, comportándose como un bien inelástico; asimismo la elasticidad ingreso resulta ser de 3,29, clasificándose como un servicio de tipo normal. Estos resultados concuerdan con las investigaciones indicadas en la revisión de literatura del presente documento.

6.2 Elasticidades de largo plazo

Las elasticidades de largo plazo son definidas como variables para explicar las tendencias de la demanda en un amplio período de tiempo (siendo el resultado de ajustes frente a cambios de gustos, necesidades e ingresos de los agentes que consumen el bien o servicio). En el caso de la elasticidad precio de la energía, se obtiene que ante aumentos del 1 % en el precio, la demanda doméstica caería en 1,97 %, mientras la industrial disminuirá en 0,91 %. A su vez, se tiene que para la elasticidad ingreso, por cada aumento del 1 % en los ingresos de personas o empresas, la cantidad demandada aumentará en 0,008 % para el caso doméstico, siendo un servicio necesario, y crecerá 6,26 % para el caso industrial, comportándose como un servicio normal. Las elasticidades de sustitución para los dos segmentos de mercado dieron no significativas, dando a conocer el débil y poco impacto que tienen bienes sustitutos cercanos sobre el mercado agregado de la energía eléctrica en Colombia.

6.3 Impactos macroeconómicos del precio de la energía

Ahora, en lo referente a la estimación de los modelos VARX⁴⁸ y BVARX, se realizó para ambos un análisis de impulso-respuesta⁴⁹, donde se estudiaron los efectos de un aumento de una desviación

⁴⁸ A partir de los criterios de información HQ y AIC, para la selección óptima de rezagos, se estableció que este VARX necesitaba de dos rezagos. A su vez, se utilizó la descomposición de Cholesky para su cálculo. Por otra parte, al aplicarse el test de normalidad multivariada, el *p-valor* arrojado fue de 0,0564, la prueba de autocorrelación Breusch-Godfrey dio un *p-valor* de 0,07, y la prueba de heterocedasticidad White tuvo un *p-valor* de 0,14. Con esto se define que los residuales del modelo tienen un comportamiento de ruido blanco al cumplir con todos los supuestos fundamentales.

estándar del crecimiento del precio de la energía sobre el crecimiento del Producto Interno Bruto y algunas otras variables macroeconómicas, junto con su causalidad en el sentido de Granger para entender si a partir de este sistema multivariado de series de tiempo, el comportamiento del PIB, está condicionado por la volatilidad del precio de la energía.

Tabla 9. Impulsos-respuesta del VARX frecuentista y bayesiano a una innovación del crecimiento del precio de la energía

Período trimestral	Crecimiento del PIB		Crecimiento del IPC		Crecimiento del índice de producción manufacturera		Crecimiento de la tasa de interés		Crecimiento de la demanda de energía		ITCR	
	VARX Frec.	VARX Bay.	VARX Frec.	VARX Bay.	VARX Frec.	VARX Bay.	VARX Frec.	VARX Bay.	VARX Frec.	VARX Bay.	VARX Frec.	VARX Bay.
1	-0,0064	-0,0004	-0,0312	0,0279	-0,1919	-0,9395	-0,0147	0,0101	-0,0036	-0,0001	-0,0097	0,0050
2	-0,0054	-0,0100	-0,0296	0,1651	-0,8598	-1,7848	-0,0041	0,0029	-0,0023	-0,0005	-0,0055	0,0051
3	-0,0080	-0,0096	-0,0903	0,0820	-0,8757	-0,7168	-0,0025	0,0005	-0,0009	-0,0008	-0,0074	-0,0024
4	-0,0055	-0,0005	-0,2049	-0,0466	-0,3368	-0,5183	-0,0145	-0,0035	-0,0010	-0,0009	0,0041	-0,0053
5	-0,0033	-0,0029	-0,2839	-0,0715	-0,4336	-0,4366	-0,0093	-0,0026	-0,0022	-0,0005	0,0011	-0,0040
6	-0,0005	0,0004	-0,1827	-0,0951	-1,0951	-0,4451	-0,0089	-0,0038	-0,0024	-0,0002	-0,0047	-0,0022
7	-0,0014	-0,0010	-0,1541	-0,1074	-1,1119	-0,3545	-0,0001	-0,0021	-0,0011	-0,0001	-0,0028	-0,0006
8	-0,0014	-0,0002	-0,2506	-0,1238	-0,2306	-0,3288	-0,0096	-0,0021	0,0010	-0,0001	0,0017	-0,0001
9	-0,0003	-0,0008	-0,3911	-0,1356	-0,0404	-0,2718	-0,0022	-0,0014	0,0004	-0,0001	0,0017	-0,0001
10	-0,0009	-0,0003	-0,3770	-0,1476	-0,7102	-0,2524	-0,0054	-0,0014	-0,0005	-0,0001	-0,0051	-0,0001
11	-0,0015	-0,0004	-0,3396	-0,1552	-0,6894	-0,2268	0,0009	-0,0010	0,0000	-0,0001	-0,0025	-0,0001
12	-0,0012	-0,0001	-0,3927	-0,1619	-0,0535	-0,2164	-0,0069	-0,0008	0,0010	0,0000	0,0032	0,0000

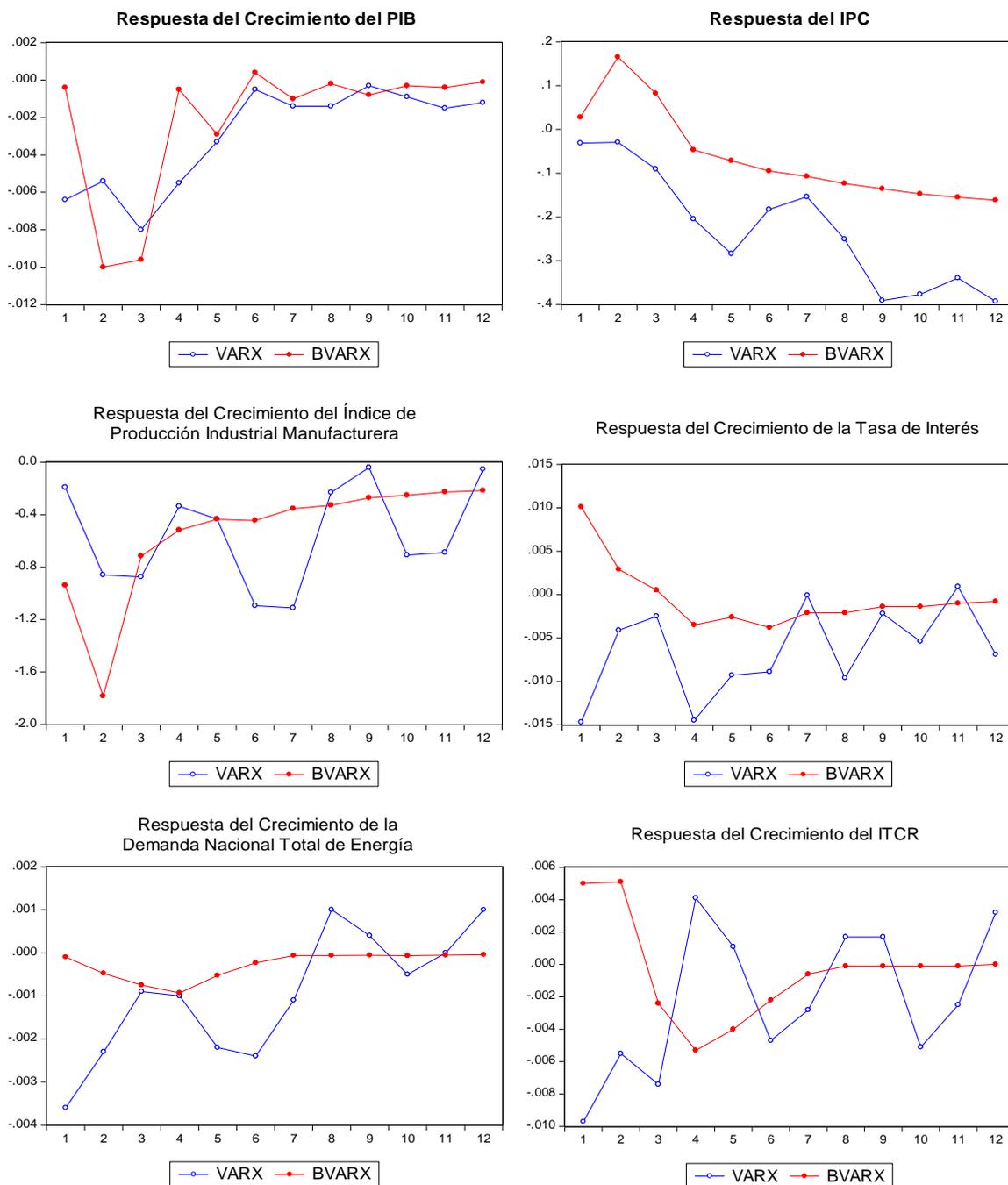
Fuente: elaboración propia.

Con base en la Tabla 9, un *shock* positivo en el precio de la energía eléctrica de una desviación estándar (20 %), reduce el crecimiento trimestral del PIB hasta en un 0,8 %, 9 meses después de ocasionada la innovación según el modelo VARX, y hasta en 1 % un semestre después de realizado el mismo choque según el BVARX, lo que equivale para este último, a una disminución aproximada superior a \$1,2 billones (año base 2005). Este efecto se estabiliza aproximadamente año y medio después de presentado el choque, representando así, la incidencia de la energía en el crecimiento económico, y por tanto su relevancia para el progreso y desarrollo de la nación.

Por otro lado, la demanda nacional total de energía disminuye conforme existe un aumento en el precio de la energía, siendo este efecto importante solo en el primer año de sucedido el alza (con menor intensidad en el BVARX), por lo que se confirma el signo de las elasticidades precio halladas en el apartado anterior. A su vez, se resalta la importancia de este servicio en el medio industrial, ya que el índice de producción manufacturera resulta gravemente afectado por la innovación ocurrida, decayendo bajo las dos funciones de impulso-respuesta hasta en una unidad.

⁴⁹ Basándose en el enfoque de Pesaran y Shin (1998), donde las funciones de impulso-respuesta no requieren de ortogonalización de las perturbaciones y son invariantes a la ordenación de las variables en el modelo VARX (Espinosa y Vaca, 2013).

Figura 4. Funciones de impulsos-repuesta a una innovación del crecimiento del precio de la energía



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra que las respuestas al choque en el precio de la energía son similares (al tener una misma tendencia) en ambas metodologías, para todas las variables, a excepción del

crecimiento de la tasa de interés y del índice de tasa de cambio real, que en una primera parte (dos primeros trimestres) presentan valores positivos⁵⁰ en el modelo BVARX, mientras en el VARX siempre responden con valores negativos. Los resultados del enfoque bayesiano concuerdan más con la teoría económica, ya que el alza en los precios de la energía presiona a las industrias a aumentar su precio de mercado impactando positivamente a la inflación⁵¹ (el IPC aumenta en más una unidad a partir del segundo período), por lo que la Banca Central aumentaría las tasas de interés para frenar un *boom* inflacionario. Por último, al aplicar el test de Granger⁵² en el modelo VARX, se obtiene que a un nivel de significación del 5 %⁵³, se da solo una causalidad en sentido de Granger y se refiere a la del crecimiento del precio de la energía al índice de producción manufacturera, entendiendo por ello que la primera variable contiene información relevante para predecir el comportamiento de la segunda, mostrando así la importancia del servicio de energía eléctrica para la demanda industrial colombiana.

Tabla 10. Test de causalidad en el sentido de Granger

	Variable dependiente			
	Crecimiento del precio de la energía		Crecimiento del PIB	
	Estadístico F	<i>P-valor</i>	Estadístico F	<i>P-valor</i>
Crecimiento del PIB	2,15486	0,0946	-	-
Crecimiento del precio de la energía	-	-	0,72315	0,5820
IPC	1,71510	0,1687	1,95331	0,1234
Índice real de producción industrial manufacturera	<u>3,16016</u>	<u>0,0256</u>	0,99007	0,4258
Crecimiento de la demanda de energía	0,44175	0,7776	0,33541	0,8522 ⁵⁴
ITCR	0,62040	0,6510	0,92525	0,4604

Fuente: elaboración propia.

⁵⁰ La apreciación de la moneda colombiana se debería al aumento en el IPC, y por ende, a incrementos en la inflación. De manera que frente a aumentos de los precios internos, disminuirá el ITCR, teniendo en cuenta que para el cálculo de éste último se contempla a los primeros en el denominador.

⁵¹ Dado que la fórmula tarifaria convierte los costos de medición, liquidación, facturación, recaudo, atención al cliente y reclamación, en costos que dependen del consumo (UPME, 2004). En este sentido, algunos costos generados en la cadena de la energía se trasladan a los usuarios finales, viéndose así, incrementado el precio final de la energía.

⁵² Esta prueba busca mirar si una variable “x” causa en el sentido de Granger a otra “y”, en el concepto de que “x” ayuda a mejorar el pronóstico de “y”, permitiendo saber si “x” posee información importante sobre el comportamiento futuro de “y” (Espinosa y Vaca, 2013).

⁵³ A un nivel de significación del 10 %, el crecimiento del precio de la energía causa en sentido Granger al crecimiento del PIB.

⁵⁴ En la relación inversa, la demanda total de energía sí causa en sentido Granger al PIB con un *p-valor* de 0,0235.

7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se buscó analizar las elasticidades precio y elasticidades ingreso de corto y largo plazo del servicio público de la energía para Colombia a partir del año 2000, fecha referente al cambio de condiciones legales para pertenecer al tipo de usuarios regulados y no regulados. Al estimar los resultados mediante MCO, utilizando como base la ecuación de rezagos retardados de Marc Nerlove, los resultados arrojaron que para el sector doméstico la energía es un bien necesario y para el sector industrial un bien normal. Al revisar sus coeficientes frente a los hallados en épocas anteriores para el país, se puede afirmar que, en lo referente a los agentes domésticos, no se tienen cambios de consideración, aspecto que difiere para el sector industrial en sus elasticidades ingreso en el corto y largo plazo, que presentan valores mayores a 3, resultados atípicos en referencia a los trabajos aplicados para Colombia.

Además de ello, se estimó el impacto del precio de la energía sobre algunas de las principales variables macroeconómicas de la economía nacional; para ello, se utilizó una técnica estadística perteneciente a las series de tiempo multivariadas, VARX, desde un enfoque clásico y bayesiano. Entre los resultados de las estimaciones econométricas más importantes cabe mencionar que, ante aumentos del precio de la energía, el PIB reacciona negativamente decayendo su crecimiento hasta en un 1 %, a la vez que disminuyen el índice de producción industrial manufacturera (única variable que es causada en sentido de Granger por el precio de la energía) y la demanda nacional de energía, donde la innovación pierde su fuerza transcurridos aproximadamente 2 años desde el momento del *shock*.

En este sentido, se concluye la importancia del sector eléctrico en el progreso económico y social del país, al contemplar las incidencias del comportamiento del precio de la energía eléctrica tanto para las actividades diarias de los consumidores finales como para el proceso productivo adelantado por las industrias instaladas en el territorio nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente al profesor Munir Jalil Ph.D. por sus consejos y sugerencias en el transcurso de la investigación. Asimismo, agradecen los comentarios de los profesores Joan-Ramón Borrell Ph.D., Leonardo Duarte M.Sc., Yris Olaya Ph.D. y de los revisores anónimos de la Revista.

REFERENCIAS

- Acuña, H. (2008). ¿Cambia el consumo eléctrico de los hogares cuando cambia el precio? Sugerencias para el diseño de un subsidio. *Documento de trabajo N° 2, Departamento de Estudios División Social, Ministerio de Planificación (Chile)*, 16 p.
- Alarco, G. (2009). Impactos macroeconómicos de los precios de los energéticos en México con un modelo de equilibrio general poskeynesiano. *Análisis Económico, XXIV, N° 56*, 7–35.
- APEX Consultores. (1985). *Estudio de proyección de demanda de Energía Eléctrica*. Bogotá, Colombia. 68 p.
- Arnberg, S. y Bjørner, T. (2007). Substitution between energy, capital and labour within industrial companies: A micro panel data analysis. *Resource and Energy Economics, 29 (2)*, 122–136.
- Arón, N. (2006). Impacto de cambios exógenos de precios del sector energético en Nuevo León. Un análisis de insumo-producto. *Región y Sociedad, XVIII, N° 36*, 37–67.
- Arthur, M., Bond, C. y Willson, B. (2012). Estimation of elasticities for domestic energy demand in Mozambique. *Energy Economics, Vol. 34 (2)*, 398–409.
- Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex) y Clúster de Energía Eléctrica de la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. (2009). *Propuesta de valor sectorial: Energía eléctrica, bienes y servicios conexos*. 42 p.
- Ballabriga, F., Álvarez, L. y Jareño, J. (1998). Un modelo macroeconómico BVAR para la economía Española: Metodología y resultados. *Servicio de Estudios Económicos, Banco de España, N° 64*, 125 p.
- Benavente, J., Galetovic, A., Sanhueza, R. y Serra, P. (2005). Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: El consumo es sensible al precio. *Cuadernos de Economía, 42*, 31–61.
- Bernanke, B., Gertler, M. y Watson, M. (2004). Reply: Oil shocks and aggregate macroeconomic behavior: The role of monetary policy. *Journal of Money, Credit and Banking, 36 (2)*, 287–291.
- Berndt, E. (1991). *The practice of econometrics: Classic and contemporary*. Cambridge, EEUU: MIT Press. 702 p.
- Bierens, H. (2004). VAR models with exogenous variables. *Working paper, Pennsylvania State University*, 6 p.
- Blanchard, O. y Galí, J. (2007). The macroeconomic effects of oil price shocks: Why are the 2000s so different from the 1970s?. *NBER Working Paper Series, N° 13368*, 77 p.
- Blümel, G., Espinoza, R. y Domper, M. (2009). Crecimiento económico, precios de la energía e innovación tecnológica. *Serie Informe Económico Instituto Libertad y Desarrollo, N° 206*, 24 p.
- Boonekamp, P. (2007). Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption – A bottom up analysis for the Netherlands. *Energy Economics, 29*, 133–157.
- Bouille, D. (2004). *Economía de la energía*. San Carlos de Bariloche, Argentina: IDEE/FB. 232 p.
- Carlstrom, C. y Fuerst, T. (2005). Oil prices, monetary policy, and counterfactual experiments. *Working Paper, Federal Reserve Bank of Cleveland, N° 10*, 25 p.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (1995). *Resolución 24 de 1995*. 88 p.
- Deaton, A. (1990). Price elasticities from survey data: Extensions and Indonesian results. *Journal of Econometrics, 44 (3)*, 281–309.
- Departamento Nacional de Planeación -DNP- (2008). *Documento Conpes 3527. Política Nacional de Competitividad y Productividad*. Bogotá, Colombia: DNP. 87 p.

- Departamento Nacional de Planeación -DNP- (2010). *Documento Conpes 3668. Informe de seguimiento a la Política Nacional de Competitividad y Productividad Ley 1253 de 2008*. Bogotá, Colombia: DNP. 143 p.
- Doan, T., Litterman, R. y Sims, C. (1984). Forecasting and conditional projections using realistic prior distributions. *Econometric Reviews*, 3(1), 1–100.
- Econometría Ltda. (1982). *Modelo econométrico de proyecciones regionales y sectoriales de energía eléctrica en Colombia*. Bogotá, Colombia: Econometría Ltda. 42 p.
- Edelstein, P. y Kilian, L. (2007). Retail energy prices and consumer expenditures. *Centre for Economic Policy Research*, N° 6255, 67 p.
- Espinosa, O. y Vaca, P. (2013). ¿Existe relación alguna entre déficit fiscal e inflación? El antes y el después de la independencia del Banco de la República en Colombia. *Econografos N° 52, Centro Editorial FCE, Universidad Nacional de Colombia*, 35 p.
- Fisher, F. y Kaysen, C. (1962). *A study in econometrics: The demand for electricity in the United States*. Amsterdam, Holland: North Holland Publishing Company, 190 p.
- Galetovic, A. y Muñoz, C. (2010). La elasticidad de la demanda por electricidad y la política energética. *El Trimestre Económico*, LXXVII (2), N° 306, 313–341.
- García, J. (2012). Impacto del costo de la energía eléctrica en la economía chilena: Una perspectiva macroeconómica. *Documento de trabajo. Facultad de Economía y Negocios, Universidad Alberto Hurtado*, 29 p.
- García, J., Gaviria, A. y Salazar, L. (2011). Determinantes del precio de la energía eléctrica en el mercado no regulado en Colombia. *Revista Ciencias Estratégicas*, 19, N° 26, 225–246.
- Greene, W. (2011). *Econometric analysis*. 7ª ed. New York, EE.UU.: Prentice Hall. 1232 p.
- Gujarati, D. (2004). *Econometría*. México D.F., México: McGraw Hill Interamericana. 972 p.
- Gutiérrez, A. (2011). Elasticidad precio-demanda de los usuarios no regulados en Colombia. *Tesis de Maestría en Economía, Universidad EAFIT*, 51 p.
- Guzmán, E., Rodríguez, J., Hernández, J. y Rebollar, S. (2011). Consumo de energía eléctrica para uso doméstico en San Juan del Río, Querétaro. *Análisis Económico*, XXV, N° 61, 139–151.
- Hausman, J. (1985a). The econometrics of nonlinear budget sets. *Econometrica*, N° 53 (6), 1255–1282.
- Hausman, J. (1985b). Taxes and labor supply. En: Auerbach, A., y Feldstein, M. (Eds.). *Handbook of Public Economics, Vol. 1*. Amsterdam, Holland: North-Holland. 484 p.
- Hondroyannis, G. (2004). Estimating residential demand for electricity in Greece. *Energy Economics*, 26 (3), 319–334.
- Houthakker, H. (1951). Electricity tariffs in theory and practice. *The Economic Journal*, 61, N° 241, 1–25.
- Huq, S. y Dynes, G. (1982). The price elasticity of the residential demand for electricity in the Vepco service area. *Energy*, 2, N° 10, 829–837.
- Jaramillo, P. (2009). Estimación de VAR bayesianos para la economía chilena. *Revista de Análisis Económico*, 24(1), 101–126.
- Jones, D. y Leiby, P. (1996). The macroeconomic impacts of oil price shocks: A review of literature and issues. *Draft, Oak Ridge National Laboratory*, 33 p.
- Killian, L. (2008). The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature*, 46 (4), 871–909.

- Lakshmanan, T. y Anderson, W. (1980). Residential energy demand in the United States: A regional econometric analysis. *Regional Science and Urban Economics*, 10 (3), 371–386.
- Leduc, S. y Sill, K. (2001). A quantitative analysis of oil-price shocks, systematic monetary policy, and economic downturns. *Working Paper, Federal Reserve Bank of Philadelphia*, N° 9, 33 p.
- Liddle, B. (2012). The importance of energy quality in energy intensive manufacturing: Evidence from panel cointegration and panel FMOLS. *Energy Economics*, 34 (6), 1819–1825.
- Lijesen, M. (2007). The real-time price elasticity of electricity. *Energy Economics*, 29, 249–258.
- Litterman, R. (1979). Techniques for forecasting with vector autoregressions. *Working Paper, Federal Reserve Bank of Minneapolis*, N° 115, 135 p.
- Litterman, R. (1984). Forecasting and policy analysis with bayesian vector autoregression models. *Federal Reserve Bank of Minneapolis, Quarterly Review*, 8 (4), 30–41.
- Lozano, I. y Rincón, H. (2010). Formación de las tarifas eléctricas e inflación en Colombia. *Borradores de Economía, Banco de la República*, N° 634, 47 p.
- Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Cambridge, EEUU: Springer, 764 p.
- Maddock, R., Castaño, E. y Vella, F. (1992). Estimating electricity demand: The cost of linearising the budget constraint. *The Review of Economics and Statistics*, 74 (2), 350–354.
- Medina, C. y Morales L. (2007). Demanda por servicios públicos domiciliarios en Colombia y subsidios: Implicaciones sobre el bienestar. *Borradores de Economía, Banco de la República*, N° 467, 38 p.
- Mendoza, J. (2010). Estimación de la demanda de energía eléctrica de la empresa Electricaribe S.A. de la ciudad de Santa Marta, durante el período comprendido entre 1998-2006. *Tesis de Maestría en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia*, 121 p.
- Ministerio de Minas y Energía, -Minminas- (2011). Sector energía eléctrica. En: *Memorias al Congreso de la República 2010-2011*. (pp. 146–190). Bogotá, Colombia: Minminas.
- Nerlove, M. (1958). Distributed lags and estimation of long-run supply and demand elasticities: Theoretical considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 40 (2), 301–310.
- Pérez, J. y Acosta, C. (1987). Modelos de demanda residencial e industrial para Colombia y estimaciones de elasticidades precio. *Desarrollo y sociedad*, 19, N°1, 67–94.
- Perilla, J. (2010). El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia. *Revista de Economía del Rosario*, 13, N° 1, 75–116.
- Pesaran, M. y Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58 (1), 17–29.
- Quilis, E. (2004). BayVAR. Una librería Matlab para el análisis VAR Bayesiano. *Instituto Nacional de Estadística*. 25 p.
- Ramírez, A. y Londoño, E. (2008). Implicaciones de bienestar en el sector residencial de la unificación tarifaria en el servicio de electricidad en el departamento de Antioquia. *Working Paper, Universidad EAFIT*, 34 p.
- Ramírez, G. (1991). La demanda de energía eléctrica en la industria colombiana. *Desarrollo y Sociedad*, 27, 121–139.
- Sánchez, E. (2010). Shocks del precio del petróleo y su impacto en el crecimiento y la inflación de la economía colombiana. *Tesis de Maestría en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia*, 87 p.

- Sandoval, A. (2004). Monografía del sector de electricidad y gas colombiano: Condiciones actuales y retos futuros. *Archivos de Economía, DNP, N° 272*, 102 p.
- Santa María, M., Von Der Fehr, N., Millán, J., Benavides, J., Gracia, O. y Schutt, E. (2009). El mercado de la energía eléctrica en Colombia: Características, evolución e impacto sobre otros sectores. *Cuadernos de Fedesarrollo*, 30, 53 p.
- Seale, J., Walker, W. y Kim, I. (1991). The demand for energy: Cross-country evidence from the Florida model. *Energy Economics*, 12 (1), 33–40.
- Sims, C. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48 (1), 1–48.
- Sims, C. y Zha, T. (1998). Bayesian methods for dynamic multivariate models. *International Economic Review*, 39 (4), 949–968.
- Smith, V. (1980). Estimating the price elasticity of US electricity demand. *Energy Economics*, 2 (2), 81–85.
- Taylor, L. (1979). On modelling the residential demand for electricity by time-of-day. *Journal of Econometrics*, 9 (1-2), 97–115.
- Todd, R. (1984). Improving economic forecasting with bayesian vector autoregression. *Federal Reserve Bank of Minneapolis, Quarterly Review*, 8 (4), 18–29.
- Türkekul, B. y Unakitan, G. (2011). A co-integration analysis of the price and income elasticities of energy demand in Turkish agriculture. *Energy Policy*, 39 (5), 2416–2423.
- UPME (2003). *Plan indicativo de expansión de cobertura del servicio de energía eléctrica*. Bogotá, Colombia: UPME. 98 p.
- UPME (2004). *Una visión del mercado eléctrico colombiano*. Bogotá, Colombia: UPME. 110 p.
- UPME (2010a). *Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2010-2014 (Preliminar)*. Bogotá, Colombia: UPME. 110 p.
- UPME (2010b). *Plan de expansión de referencia Generación – Transmisión 2010-2024*. Bogotá, Colombia: UPME. 299 p.
- Urbiztondo, S. y Rojas, J. (2005). La reforma del sector eléctrico en Colombia: Breve análisis y crítica constructiva. *Documento de trabajo, Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas, N° 85*, 38 p.
- Vélez, C., Botero, J. y Yáñez, S. (1991). La demanda de energía de electricidad: Un caso colombiano. 1970-1983. *Lecturas de Economía*, 34, 149–189.
- Wills, J. (1981). Residential demand for electricity. *Energy Economics*, 3 (4), 249–255.
- XM (2012). *Informe de administración y operación del mercado 2011*. Medellín, Colombia: XM. 99 p.
- Yoo, S. y Kwak, S. (2009). Electricity consumption and economic growth in seven South American countries. *Energy Policy*, 38 (1), 181–188.
- Zachariadis, T. y Pashourtidou, N. (2007). An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. *Energy Economics*, 29, 183–198.
- Zapata, J. (2011). Impacto del PIB, del gas natural y de los precios de la electricidad, en el Consumo de Energía Eléctrica en Colombia. *Tesis de Maestría en Economía, Universidad EAFIT*, 57 p.
- Zárate, H., Rodríguez, N. y Marín, M. (2012). El tamaño de las empresas y la transmisión de la política monetaria en Colombia: Una aplicación con la encuesta mensual de expectativas económicas. *Borradores de Economía, Banco de la República, N° 721*, 24 p.

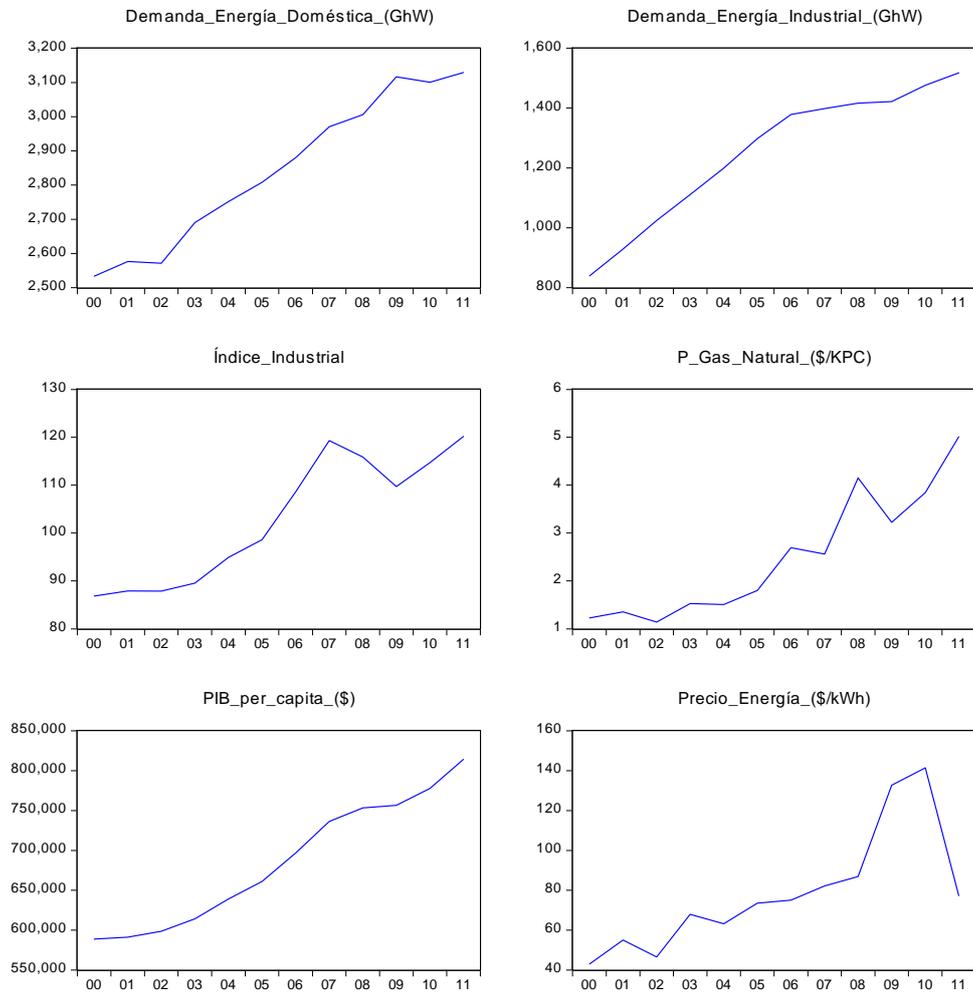
ANEXO 1. MÉTODO MATRICIAL DE CÁLCULO

El cálculo se realizó mediante el método matricial descrito a continuación:

- i) Si se tienen k datos anuales y se quieren mensualizar para obtener en total $12k$, entonces se crea una matriz C , de dimensión $(k) \times (12k)$, donde en la primera fila, las entradas $a_{1,1}$ a $a_{1,12}$ se colocan unos (1), y de resto en la fila 1 se colocan ceros (0), en la fila 2, las entradas $a_{2,13}$ a $a_{2,24}$ se colocan unos (1), y de resto en esta fila se ponen ceros (0), y así sucesivamente hasta que en la fila k se tiene que las entradas $a_{k,1}$ a $a_{k,k-12}$ son ceros (0), y de la entrada $a_{k,k-11}$, a $a_{k,k}$ se sitúan unos (1).
- ii) Luego, se crea una matriz \tilde{N} de dimensión $(12k-1) \times (12k)$, donde su diagonal $(a_{i,i})$ es igual a -1 en todas sus entradas, y la diagonal superior que le sigue (correspondiente a las entradas $a_{i,i+1}$) es igual 1 en todas sus entradas.
- iii) Se multiplica la matriz \tilde{N} traspuesta (\tilde{N}^T) por \tilde{N} , cuyo resultado se denomina W , que posee dimensión $(12k) \times (12k)$.
- iv) Luego se crea una matriz conformada por
$$\begin{bmatrix} W_{(12k) \times (12k)} & C^T_{(12k) \times (k)} \\ C_{(k) \times (12k)} & 0_{(k) \times (k)} \end{bmatrix}$$
. A esta “gran matriz” de dimensión $(13k) \times (13k)$ se le calcula la inversa (por lo que debe tener $\det \neq 0$).
- v) El siguiente paso es crear un vector columna de datos anuales $(13k) \times (1)$, donde las primeras $(12k)$ entradas son iguales a 0, y las restantes k entradas (de $a_{12k+1,1}$ a $a_{13k,1}$) tienen en orden cronológico el valor de los datos anuales.
- vi) Finalmente, se multiplica la inversa de la “gran matriz $(13k) \times (13k)$ ” por el vector columna $(13k) \times (1)$ del punto v), obteniendo de esta forma, un nuevo vector columna de dimensiones $(13k) \times (1)$, en donde las primeras $12k$ entradas (de $a_{1,1}$ a $a_{12k,1}$) se encuentran los datos mensualizados.

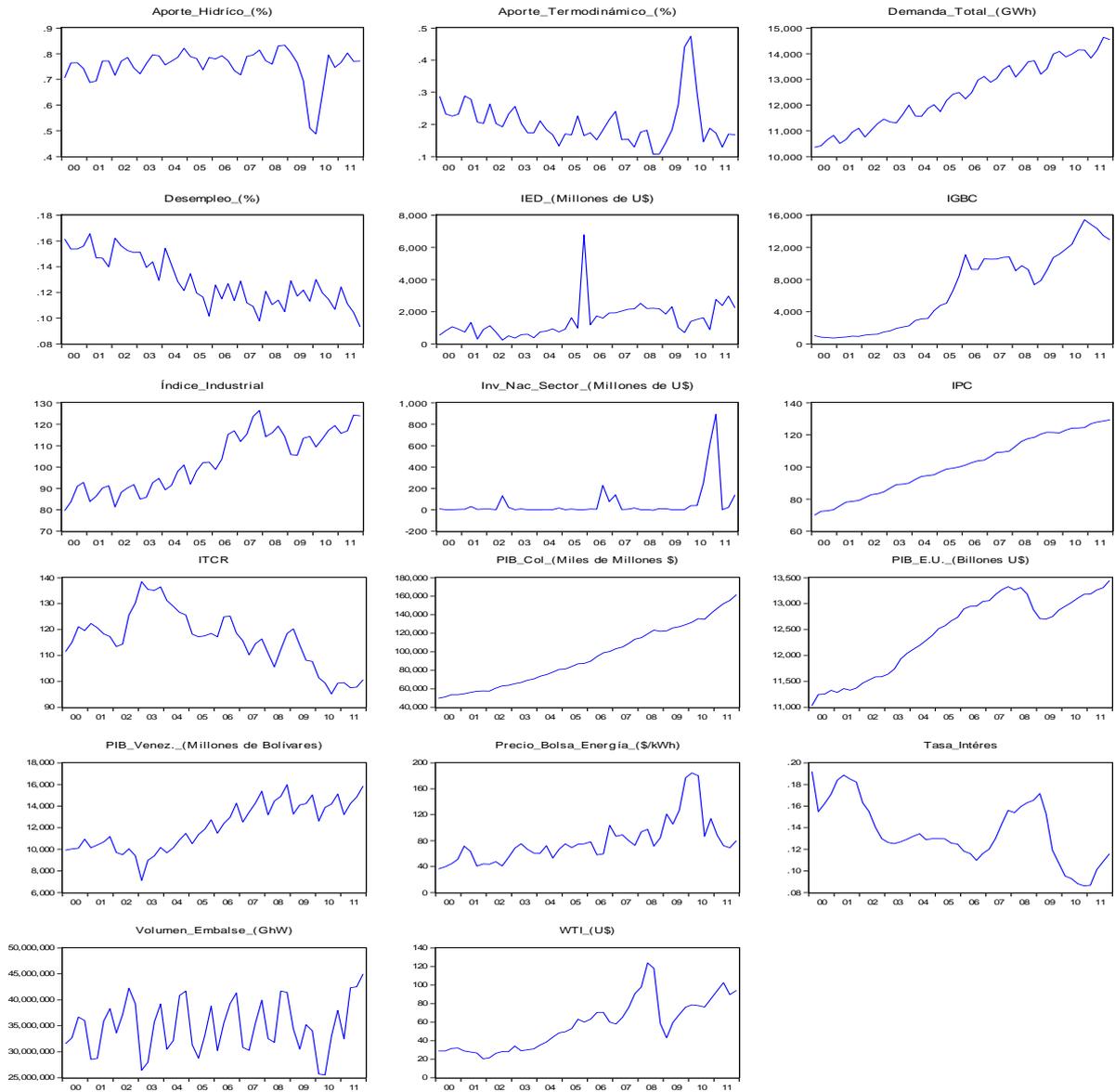
ANEXO 2. GRÁFICAS DE LAS SERIES DE TIEMPO MODELADAS

Series mensuales utilizadas para las ecuaciones de demanda



Fuente: elaboración propia.

Series trimestrales utilizadas en los modelos VARX y BVARX



Fuente: elaboración propia.