

***IMPACTO DEL PIB, DEL GAS NATURAL Y DE LOS PRECIOS DE LA  
ELECTRICIDAD, EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN  
COLOMBIA***

JAIME ALEJANDRO ZAPATA URIBE

Monografía para optar al título de  
Magister en Economía en la modalidad de Profundización

Asesor: Dr. Theodore Richard Breton

Universidad EAFIT  
Medellín - Colombia

2011

## AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo doy por concluida una etapa importante en mi vida personal y profesional, etapa que no hubiera sido posible culminar satisfactoriamente sin la participación de personas e instituciones que de una u otra forma han aportado para lograr este feliz término. Es por esto que utilizo este espacio para expresar mis más sinceros agradecimientos:

A mi empresa, XM S.A. E.S.P. y a mis gerentes, por su invaluable apoyo y confianza, y por facilitarme los medios suficientes para emprender esta Maestría.

A mis profesores y en especial a mi Asesor, el Profesor Theodore Breton, por su constante apoyo, colaboración y disponibilidad para compartir su experiencia y conocimiento que nos permitió obtener satisfactorios resultados.

A todos mis compañeros de maestría con quienes compartimos diferentes tragos, amargos y dulces, pero hoy podemos decir: Lo logramos!

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración, compromiso e inspiración habría sido imposible lograrlo. A mi esposa Mónica por su amor y sacrificio, y además por su invaluable apoyo y dedicación. A mis hijos Samuel y Alejandro por su permanente ánimo, sacrificio y dedicación. Realmente este logro es por ellos y para ellos: Lo logramos!

## ***IMPACTO DEL PIB, DEL GAS NATURAL Y DE LOS PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD, EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA***

JAIME ALEJANDRO ZAPATA URIBE

Asesor: Dr. Theodore Richard Breton

### **Introducción**

La construcción de la política energética de un país, depende en alta medida del aporte que tiene el sector energético en su desarrollo económico. Bajo esta óptica, es interesante estudiar el comportamiento del consumo de energía con base en las principales variables que pueden incidir en mayor medida en la evolución de la misma como el Producto Interno Bruto -PIB- y los precios de la energía.

Este trabajo pretende en principio, analizar la relación existente entre el PIB y la demanda de energía en Colombia, debido a la estrecha relación que han tenido estas variables en diferentes instancias a lo largo del tiempo, la cual ha sido afectada entre otras por i) la alta contribución del PIB de ciertas actividades que tienen un menor consumo de electricidad en sus procesos productivos (ej: actividad de la construcción), ii) la mayor eficiencia en los procesos, iii) la sustitución de la energía eléctrica por otros energéticos y iv) el aumento de la autoproducción de energía. De igual modo, es relevante contar con los resultados de la aplicación de modelos econométricos, para apoyar las decisiones gubernamentales para los diferentes sectores de la economía que dependen en alta medida, del comportamiento del consumo de energía.

Adicionalmente, como pretensión secundaria y como elemento diferenciador de este trabajo, se tiene la inclusión de la mensualización del PIB mediante la aplicación de la

metodología Chow-Lin<sup>1</sup>, pues en la información disponible, la serie del PIB se tiene con periodicidad trimestral.

Es de resaltar, que desde el inicio del Mercado de Energía Eléctrica en Colombia, en el año 1995, se ha venido analizando la relación que se presenta entre el Producto Interno Bruto y la demanda de energía eléctrica del país, pues es claro que la economía nacional se diversifica en una serie de actividades que no solamente comprenden el ámbito agropecuario y el industrial, pues la producción de energía así como la de otros combustibles, hacen parte de la nómina de recursos que permiten el crecimiento del PIB. De hecho, la producción energética es imprescindible para el desarrollo normal de otras actividades económicas.

Utilizando la información histórica<sup>2</sup> disponible del periodo comprendido entre los años 2003 al 2010 y empleando las técnicas de modelos estructurales, se analiza qué tanto efecto tienen en el consumo de energía eléctrica, el PIB, los precios de la energía eléctrica y los precios y el consumo del gas natural en Colombia, lo cual permitirá tener elementos de juicio mejor argumentados, para explicar la relación entre estas variables.

Adicionalmente, se ha considerado el comportamiento del sector eléctrico como un factor de gran trascendencia en desenvolvimiento de la economía de un país y por consiguiente su incidencia en el PIB. No obstante, es notable el desconocimiento de algunas personas no especialistas en esta temática, de los conceptos básicos y de la organización intrínseca de este sector. Por lo tanto, resulta conveniente la descripción formal acerca de la naturaleza y funcionamiento del sector eléctrico en Colombia, como punto de partida para posteriores estudios y profundos análisis de temas relacionados.

Este trabajo se desarrolla principalmente en siete partes, donde inicialmente se presenta una breve descripción del Mercado de Energía en Colombia considerando que es el consumo de energía eléctrica, como variable dependiente, el elemento fundamental a considerar dentro del análisis. Posteriormente se hace mención al estado del arte respecto a la pretensión principal de este trabajo, destacando resultados obtenidos en

---

<sup>1</sup> Esta metodología y el resultado obtenido se explicarán más adelante, en el desarrollo del trabajo.

<sup>2</sup> Información obtenida de XM Compañía de Expertos en Mercados, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE y Superintendencia de Industria y Comercio

trabajos relacionados; luego se formula el modelo conceptual que se ha aplicado para el análisis de la hipótesis y las variables consideradas necesarias para éste. Después se presenta el detalle de los datos empleados para este análisis, incluyendo el procedimiento de mensualización del PIB aplicando la metodología Chow-Lin<sup>3</sup>, para luego proceder a presentar el modelo por medio del cual se pretende demostrar que el peso que el PIB mensual<sup>4</sup> tiene en el consumo de energía eléctrica en nuestro país es mucho mayor que el peso que tienen los precios de la energía eléctrica y el consumo del gas natural. En la sexta parte se detallan los resultados obtenidos y el análisis de los mismos. Finalmente se presentan las conclusiones y el trabajo futuro que pudiera realizarse teniendo en cuenta los resultados encontrados en el estudio.

## 1. Breve descripción del Mercado de Energía en Colombia

Colombia es un país con aproximadamente 44 millones de habitantes, con una cobertura superior al 95% y aproximadamente nueve (9) millones de suscriptores<sup>5</sup> del servicio de energía eléctrica (entre usuarios residenciales, comerciales e industriales). La capacidad instalada es de aproximadamente 13.5 GW, compuesta aproximadamente de un 64% de generación hidroeléctrica, 32% termoeléctrica y un 4% entre generación de plantas menores de 20 MW de capacidad y cogeneradores. En su esquema institucional resalta el hecho de que las funciones de supervisión y regulación se encuentran separadas, existiendo también un órgano encargado de acordar los aspectos técnicos de la Operación, conformado por los agentes del mercado. La expansión de la transmisión<sup>6</sup> se realiza a través de convocatorias públicas realizadas por el Ministerio de Minas y Energía; en niveles de tensión inferiores a 220 kV (distribución) es realizada por los distribuidores. Cuenta además con un operador y administrador de mercado, encargado de la planeación, coordinación, supervisión y control de la operación del sistema interconectado y de la liquidación de los intercambios resultantes del mercado de corto plazo (bolsa de energía)<sup>7</sup>.

---

<sup>3</sup> Este es un valor agregado y diferenciador de este trabajo, pues no se encontró en la literatura que se hubiera aplicado la mensualización del PIB con esta metodología y en ningún trabajo relacionado.

<sup>4</sup> Se mostrará el desarrollo aplicado para la mensualización de esta variable trimestral – Metodología Chow-Lin

<sup>5</sup> Un suscriptor representa una instalación o acometida del servicio; no un habitante.

<sup>6</sup> Tensiones mayores a 220 kV

<sup>7</sup> Sector Eléctrico Colombiano – Alejandro Gutiérrez Gómez – Agosto 2010

Su esquema de mercado corresponde a uno de única área y de nodo único, en el cual se forma horariamente un precio de bolsa, al cual se realizan las transacciones del mercado resultantes de la diferencia entre las cantidades contratadas y generadas o consumidas por los agentes Generadores<sup>8</sup> y Comercializadores<sup>9</sup>. La transmisión, definida para voltajes mayores o iguales a 220 kV, y la distribución (voltajes menores a 220 kV) son remuneradas a través de metodología de ingresos regulados, y cargos por uso del transporte aplicados a la demanda y liquidados por el Liquidador de Cuentas por Uso del Sistema Interconectado.

Desde el año 2006 se estableció un cargo para incentivar la inversión en generación y para cubrir a la demanda ante la volatilidad del precio de Bolsa, denominado Cargo por Confiabilidad, a través del cual la demanda paga por la confiabilidad de suministro de energía en el largo plazo y en condiciones de aportes hidrológicos escasos, y por no estar expuesta a precios superiores a aquél denominado precio de escasez y fijado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas y calculado mensualmente. Antes de este cargo, Colombia contaba con un mecanismo similar denominado Cargo por Capacidad, con características diferentes, con una vigencia de cinco años que al cumplirse se hizo necesario reevaluar.

Se interconecta por el sur con Ecuador y por el nororiente con Venezuela, a través de diferentes esquemas transaccionales. El primero, con Ecuador, se rige por normas de la Comunidad Andina de Naciones y es basado en los precios de los mercados de corto plazo de ambos países. Siendo un esquema coordinado, el sentido de los intercambios son definidos por la diferencia de los precios de importación y exportación, calculados por cada uno de los operadores de ambos países, tomando como base los precios de su propio mercado. El segundo, con Venezuela, obedece a las normas propias del mercado interno, siendo la exportación y las importaciones hacia y desde el vecino país representadas en Colombia por un agente del mercado, el cual considera las cantidades transferidas dentro de su balance.

---

<sup>8</sup> Generadores de energía eléctrica, para vender deben participar en el Mercado de Energía Mayorista

<sup>9</sup> Son quienes representan la demanda en el Mercado de Energía Mayorista. Se deben registrar como agentes del mercado.

En la comercialización minorista de la electricidad en Colombia se distinguen dos tipos de usuarios: los usuarios regulados, cuya tarifa está determinada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG – y los usuarios no regulados, quienes pueden adquirir la energía a precios acordados libremente con el comercializador de energía de su elección. Se clasifican dentro de esta última categoría aquellos consumidores que presentan una demanda máxima superior a 0.1 MW o un consumo mensual mínimo de energía de 55 MWh.

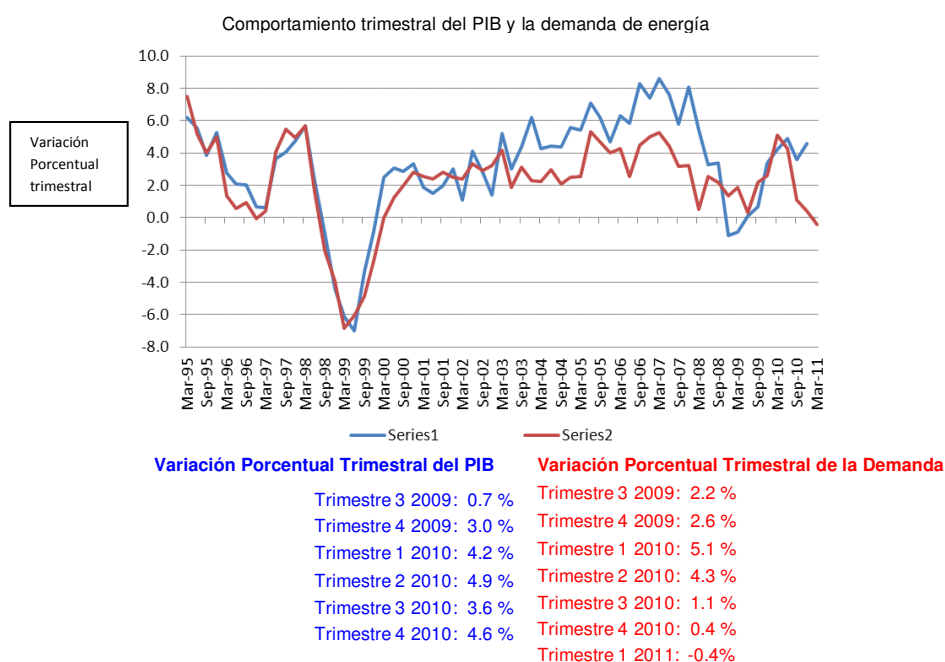
El futuro del mercado energético colombiano tiende hacia la integración de los mercados de electricidad y gas y hacia la creación de nuevos mercados de derivados financieros con subyacentes energéticos, liderados por el Operador y Administrador del Mercado: XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P. en asocio con la Bolsa de Valores de Colombia, quienes han constituido Derivex, administradora del nuevo mercado de derivados estandarizados sobre commodities energéticos. Este mercado cuenta con el soporte de la Cámara de Riesgo Central de Contraparte colombiana.

En este mercado se transa toda la energía que se requiere para abastecer la demanda de los usuarios conectados al SIN. Este esquema operativo, así como las reglas de funcionamiento y participación han permanecido estables desde la entrada en operación del Mercado de Energía Eléctrica, en el año 1995, incorporando solamente las modificaciones necesarias para promover la competencia y la eficiencia en el mercado.

Desde ese entonces, se ha venido realizando, de manera juiciosa, un seguimiento a la relación que se presenta entre el Producto Interno Bruto –PIB- y la demanda de energía eléctrica del país, pues es claro que la economía nacional se diversifica en una serie de actividades que no solamente comprenden el ámbito agropecuario y el industrial, pues la producción de energía así como la de otros combustibles hacen parte de la nómina de recursos que permiten el crecimiento del PIB. De hecho, la producción energética es imprescindible para el desarrollo normal de otras actividades económicas.

Es entonces la demanda de energía una de las variables que más relación tiene con el comportamiento del Producto Interno Bruto del país, tal como se muestra en el Grafico 1.

GRAFICO 1: Comportamiento Trimestral del PIB y la Demanda de Energía



Fuente: PIB DANE. Las tasas de crecimiento son de variación porcentual calculada entre el trimestre del año en referenciay el mismo trimestre del año anterior

Fuente: XM S.A. E.S.P.

Sin embargo y aunque normalmente tienen la misma tendencia, se puede apreciar que la relación de estas dos variables a partir del año 2003 se ha venido desacoplando debido, probablemente, a las causas mencionadas en la introducción de este trabajo.

Se puede observar como después del tercer trimestre de 2008 y hasta el primer trimestre de 2010, al parecer, es el consumo, con un crecimiento entre el 0.3% y el 2.6% la que presenta un mayor crecimiento que el PIB, considerando que éste tuvo para el mismo período un crecimiento entre el 0.5% y el 2%, situación esta que da peso en nuestro trabajo para tratar de explicar el comportamiento del consumo de energía eléctrica según el PIB y además, la significancia de los precios de la energía eléctrica y de la incursión del gas natural en Colombia.

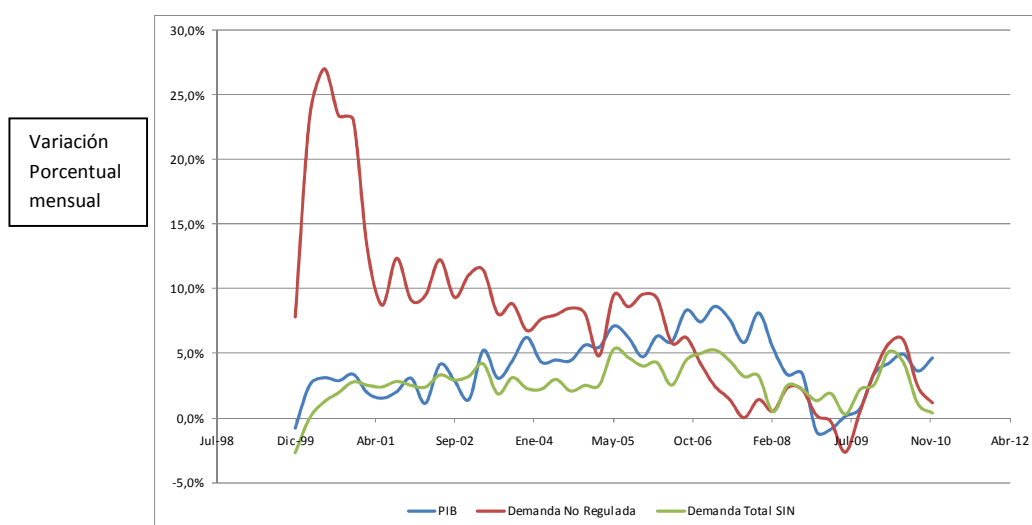
Por otro lado también se puede observar que en momentos de crisis o recuperación de la misma, el crecimiento del PIB es inferior al crecimiento de la demanda de energía, tal como ocurrió a mediados del año 1999 (crisis nacional) y la que se presentó a finales del año 2008 y principios de 2009. Este efecto atípico nos muestra un aparente

comportamiento diferente entre la demanda de energía y el PIB en épocas de crisis, que a su vez puede ser explicado en forma general por la inelasticidad parcial de la demanda de energía en el mercado colombiano, debido a la conformación de éste en mercado regulado y no regulado.

El mercado regulado atiende principalmente el consumo de electricidad del sector residencial y parte del industrial, que a pesar del impacto que pueda ocasionar la crisis en los hogares y en las pymes, éstos mantienen un consumo mínimo de energía. En tanto en el mercado no regulado, el efecto de inelasticidad de la demanda no se presenta, pues la relación con el comportamiento del PIB es directa, ya que el mercado no regulado agrupa el consumo de energía en los diferentes procesos productivos del país (industria manufacturera, minería, comercio, entre otras).

En el gráfico 2 se muestra el comportamiento del PIB y la demanda de energía en el mercado no regulado, donde se observa que de acuerdo cómo evolucione el proceso productivo en el país de forma muy parecida se impacta el comportamiento de la demanda de energía, lo cual nos indica que la demanda de energía en el mercado no regulado es elástica con relación al PIB y que por ende en momentos de crisis el PIB se puede deprimir tanto que puede o no estar por debajo del comportamiento de la demanda de energía.

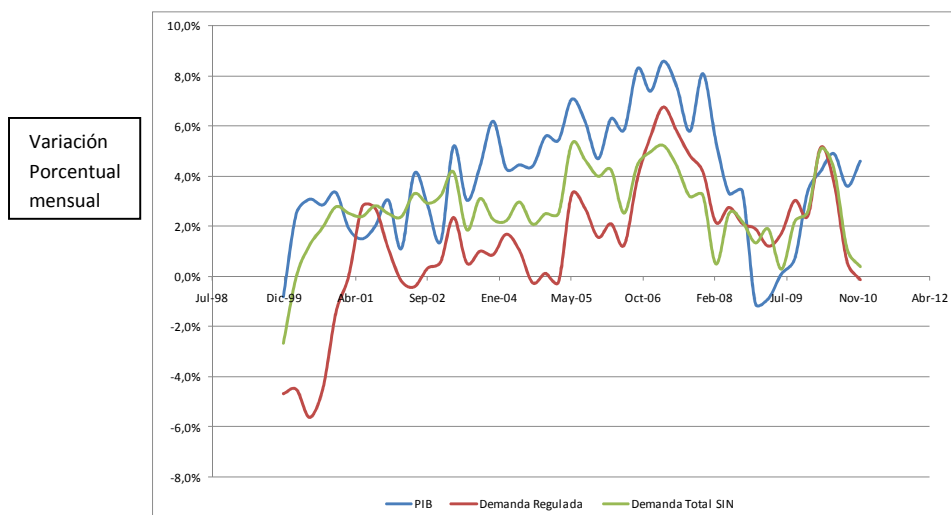
Grafico 2: Comportamiento del PIB vs Demanda No Regulada y Demanda Total



Fuente: XM S.A. E.S.P.

Se muestra en el gráfico 3, como a pesar del decrecimiento del PIB para el año 2008 y principios de 2009, la demanda de energía regulada no presenta el mismo comportamiento. Si bien el PIB presenta una tendencia de franco decrecimiento, alcanzando incluso valores negativos en el cuarto trimestre de 2008 y primer trimestre de 2009, la demanda de energía regulada no decrece, por el contrario presenta crecimiento de alrededor del 2%. Dicho comportamiento puede ser explicado por la inelasticidad relativa de la demanda regulada frente al PIB y el incremento de usuarios regulados en el país.

Gráfico 3: Comportamiento del PIB vs Demanda Regulada y Demanda Total



Fuente: XM S.A. E.S.P.

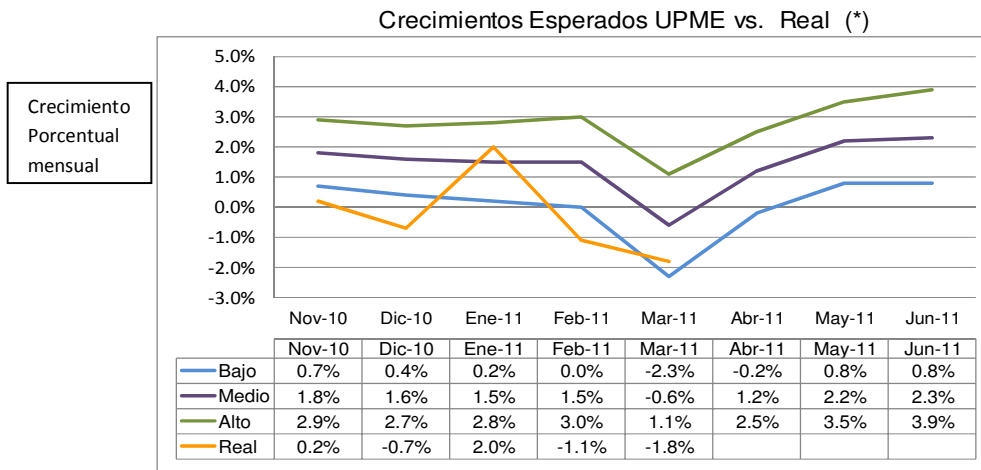
En el ámbito de la energía eléctrica, ha comenzado a aparecer competencia de otros tipos de energía que posiblemente no estén permitiendo ver reflejado el efecto del incremento en demanda para energía de la economía por mirar únicamente al incremento en el consumo de energía eléctrica.

Por esa razón, mi hipótesis intenta demostrar qué tanto efecto tienen en el consumo de energía eléctrica en Colombia: principalmente el PIB, así como el consumo del gas natural y los precios de la energía eléctrica y del gas. Éste nos serviría además como un predictor del consumo de energía con base en las mencionadas variables económicas.

Dada la cantidad de decisiones de todo tipo que indudablemente el gobierno acomete para todos los sectores de la economía con base en el comportamiento del consumo de energía, se hace necesario entonces conocer el comportamiento del consumo de energía de nuestro país con base en diferentes variables como son el PIB, los precios del gas y consumo del mismo, con el fin de apostar de manera acertada a las nuevas necesidades y estrategias de inversión y desarrollo. Es de esperar que un incremento en el PIB cause un incremento en el consumo de energía, pues es de suponer la necesidad de generación de más cantidad de recursos para incrementar el PIB y por ende permitir el aumento en el consumo.

En el gráfico 4 podemos apreciar el crecimiento esperado de la energía eléctrica en Colombia, según la UPME<sup>10</sup>, y una comparación de este esperado con la evolución real de la misma hasta marzo de 2011. Es evidente que la UPME ha esperado un crecimiento más alto de lo que hemos visto recientemente y puede promocionar sobreinversión en capacidad. Por esto es importante mejorar nuestro entendimiento de los factores que afectan la demanda para la energía eléctrica.

Grafico 4: Crecimiento Esperado del Consumo en Colombia UPME vs Actual



Información de escenarios de la UPME de Noviembre de 2010

Fuente XM S.A. E.S.P.

<sup>10</sup> UPME: Unidad de Planeación Minero Energética en Colombia. [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)

## 2. Resumen de la Literatura

La literatura consultada para efectuar este trabajo, coincide en efectuar el análisis utilizando modelos de cointegración y algunos con métodos de corrección de error, utilizando la información histórica del PIB, del consumo de energía eléctrica y de los precios de la electricidad, dependiendo el caso. Específicamente en nuestro país, hay algunos trabajos que muestran el comportamiento del PIB con base en diferentes variables que tratan de explicarla, pero dentro de la búsqueda realizada no se encuentran en Colombia trabajos que traten de explicar el comportamiento del consumo de energía eléctrica incluyendo, además del PIB y de los precios de la energía, el gas natural en los usuarios residenciales, no residenciales e industriales. Tampoco se encuentran trabajos que incluyan la mensualización del PIB como artefacto estadístico para aumentar la cantidad de datos a considerar en el análisis.

No obstante, es variada la literatura que sirve para alimentar los análisis que este trabajo pretende, tanto a nivel nacional como internacional, incluso algunos de ellos enfocados en aspectos empíricos de análisis; de hecho podemos mencionar la siguiente literatura, la cual tiene relación directa con el objeto de este trabajo.

Uno de los artículos más relevantes para este trabajo, corresponde al realizado en 2010 por Seung-Hoon Yoo y So-Yoon Kwak<sup>11</sup>, quienes realizaron un análisis detallado para siete países de Suramérica, explicando la relación existente entre el consumo de energía eléctrica y el PIB. Estos autores, para cada país establecieron la relación que se encuentra y el efecto esperado en el PIB por los incrementos en el consumo de electricidad. Para validar la necesidad de estimar o no modelos de corrección de error, y encontrar las relaciones entre consumo de electricidad y PIB validando la existencia de posibles niveles de causalidad de corto y largo plazo entre ellos, Yoo y Kwak, aplicaron pruebas de estacionariedad y cointegración a la respectiva serie de datos utilizada. Es de destacar que fueron tomadas como referencia para este trabajo, la realización de estas mismas pruebas para el caso colombiano, así como la metodología utilizada, con respecto al manejo de la información.

---

<sup>11</sup> YOO et al. *Electricity consumption and economic growth in seven South American countries*. Energy Police 38. Pag 181 – 188. 2010

El modelo formulado en este artículo, corresponde a un modelo tipo Granger, el cual se presenta a continuación:

$$\Delta Y_t = \alpha_{11} + \sum_{i=1}^{L_{11}} \beta_{11i} \Delta Y_{t-i} + u_{11t}$$

$$\Delta X_t = \alpha_{22} + \sum_{i=1}^{L_{21}} \beta_{21i} \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^{L_{22}} \beta_{22j} \Delta Y_{t-j} + u_{22t}$$

En las ecuaciones anteriores  $X_t$  representa el consumo de energía eléctrica per cápita,  $Y_t$  el PIB real per cápita,  $L$  corresponde a los rezagos,  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros a estimar, y finalmente  $u$  representa el error.

A continuación se presentan los resultados encontrados de la relación de causalidad en el corto y largo plazo, específicamente para el caso de Colombia:

Hipótesis Nula	Fuentes de causación				
	Corto plazo		Largo plazo	Unión	
	$\Delta EC$ F-statistics	$\Delta EG$	$\hat{\varepsilon}_{t-1}$ t-statistics	$\Delta EC, \hat{\varepsilon}_{t-1}$ F-statistics	$\Delta EC, \hat{\varepsilon}_{t-1}$
<b>Colombia</b>					
H1 <sup>a</sup>	9.861** (0.011)	-	-3.912** (0.011)	9.458** (0.012)	-
H2 <sup>b</sup>	-	2.120 (0.171)	-0.819 (0.429)	-	1.214 (0.331)

H1, indica que el consumo de electricidad no causa crecimiento económico. Por su parte H2, denota que el crecimiento económico, origina incremento en el consumo de energía eléctrica.  $\Delta EC$  corresponde al cambio en el crecimiento de consumo de electricidad y  $\Delta EG$  cambio en crecimiento económico. Como conclusión principal Yoo y Kwak encontraron, para el caso de Colombia, que existe relación unidireccional del consumo de energía eléctrica al crecimiento económico, sin ningún efecto en sentido contrario.

Por su parte Asafu-Adjaye<sup>12</sup> (2000), incorpora dentro del análisis de la relación entre demanda de electricidad y el PIB, el efecto que origina la variación de los precios de la energía eléctrica. El autor, estima para los países de India, Indonesia, Filipinas y Tailandia, la relación entre las variables de estudio, utilizando modelos de cointegración y de corrección de error, de manera similar a lo planteado por Yoo (2010).

Asafu-Adjaye, formularon el siguiente modelo basado en modelos de corrección de error:

$$Dy_t = A_{21}(L)Dy_{t-1} + A_{22}(L)Den_{t-1} + A_{23}(L)Dp_{t-1} + \lambda_y ECT_{t-1} + u_{2t}$$

$$Den_t = A_{11}(L)Dy_{t-1} + A_{12}(L)Den_{t-1} + A_{13}(L)Dp_{t-1} + \lambda_{en} ECT_{t-1} + u_{1t}$$

$$Dp_t = A_{31}(L)Dy_{t-1} + A_{32}(L)Den_{t-1} + A_{32}(L)Dp_{t-1} + \lambda_p ECT_{t-1} + u_{3t}$$

Donde  $y_t$ ,  $ent_t$ ,  $p_t$ , denotan el ingreso real, el consumo de energía y los precios respectivamente.  $D$ , representa el operador de diferencia,  $A_{ij}(L)$  corresponde al polinomio del operador  $L$  de rezago,  $ECT$  es la corrección de error derivado de la relación de cointegración de largo plazo y finalmente  $u$  corresponde a la corrección de error. Los coeficientes  $\lambda$ , son parámetros a estimar.

A continuación se presenta el resumen de los resultados encontrados por Asafu-Adjaye, en los países descritos previamente:

<sup>12</sup> ASAFU-ADJAYE, John. "The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries". Energy Economics 22. 2000

País / Variable Dependiente	Corto Plazo			Fuentes de causación			
	$Dy_t$	$Den_t$	$Dp_t$	ECT <sup>a</sup> only	$Den_t$ , ECT	$Dp_t$ , ECT	$Dy_t$ , ECT
	Wald <i>F</i> -statistics			<i>t</i> -Ratio	Wald <i>F</i> -statistics		
India							
$Dy_t$	–	8.14**	1.01	–2.85**	4.09**	4.63**	–
$Den_t$	0.18	–	0.08	–1.01	–	0.77	0.83
$Dp_t$	0.39	0.07	–	–0.41	0.11	–	0.20
Indonesia							
$Dy_t$	–	0.81	1.68	–2.08**	2.19	2.40	–
$Den_t$	0.87	–	0.63	1.83	–	1.68	1.70
$Dp_t$	1.06	0.81	–	–2.83**	4.00**	–	4.67**
Thailand							
$Dy_t$	–	11.3***	0.26	–0.54	9.98***	0.20	–
$Den_t$	9.66***	–	5.22*	–2.84***	–	6.55**	16.9***
$Dp_t$	0.40	9.02***	–	–3.48***	7.48***	–	6.60***
Philippines							
$Dy_t$	–	2.66*	21.6***	–1.16	–1.43	14.4***	–
$Den_t$	2.98*	–	0.00	–2.16*	–	2.38	6.14***
$Dp_t$	10.6***	0.21	–	–1.43	1.05	–	8.51***

Los resultados encontrados en los cuales se aplicó el Test de Wiener-Granger<sup>13</sup>, indican que en el corto plazo para India e Indonesia, la relación tiene carácter unidireccional entre la energía al PIB, mientras que para Tailandia y Filipinas, la relación tiene carácter bidireccional.

En el mismo contexto, Jumbe<sup>14</sup> (2003), para Malawi - Africa, aplicó los modelos de corrección de error y el Test de Granger, para información histórica de 1970 a 1999, a fin de identificar la relación entre consumo de energía eléctrica y el PIB, dividiendo los aportes en el PIB del sector agropecuario y no agropecuario. Los resultados de este trabajo, demostraron una relación de carácter bidireccional, entre el consumo de electricidad y el PIB, sugiriendo que existe una fuerte relación entre estas variables, lo que a su vez nos pudiera sugerir cierto potencial para sesgo de endogeneidad en el modelo del consumo en función del PIB.

Adicionalmente Hwang<sup>15</sup> (1992), para el caso de Taiwán, estableció la relación entre el PIB y el consumo de energía eléctrica, aplicando la técnica de análisis de causalidad,

<sup>13</sup> GRANGER, C. W. J. "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods". *Econometrica* 37. 1969. 424-438

<sup>14</sup> JUMBE, Charles. "Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi". *Energy Economics*. 2003

<sup>15</sup> HWANG. "The causal relationship between energy and GNP: the case of Taiwan". *The Journal of Energy and Development*, 1992

para una serie de datos histórica de veinte años, iniciando en 1970. Se aplicaron modelos de cointegración, para determinar la relación en el corto y largo plazo. Como conclusión del estudio Hwang, sugiere que existe una relación bidireccional en el corto plazo entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, la cual cambia a unidireccional para el largo plazo entre el crecimiento económico al consumo de electricidad. Adicionalmente destacan que la variación en los precios de la electricidad, generan incertidumbre y afectan, la relación entre las variables objeto de estudio.

En el caso de literatura escrita para el caso colombiano y relacionada con el mercado de energía eléctrica, se consultaron los artículos que se presentan a continuación:

Franco y otros (2008)<sup>16</sup>, realizaron una caracterización de la demanda de electricidad en Colombia, tomando información con resolución mensual. El modelo utilizado fue de componentes no observables, utilizando datos históricos desde 1995 a 2006. Como resultado principal, este estudio determinó que el crecimiento mensual de la demanda tiene una componente no estocástica lineal y su evolución en términos de incrementos y disminuciones, han tenido coincidencia con el comportamiento del PIB en Colombia.

Colombia vivió al inicio de la década de los 90's, una importante reestructuración en la arquitectura del sector eléctrico, la cual cambió la formación del precio de la electricidad, la cadena productiva del sector y por tanto introdujo nuevos elementos que afectaron el comportamiento de la demanda de electricidad, dividida en usuarios regulados y no regulados.

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura pertinente al tema, se identifica dentro de los elementos relevantes para el análisis realizado en otros artículos con el mismo objeto de estudio, considerar: i) información histórica de la evolución de las variables de estudio, ii) la aplicación de modelos de cointegración, iii) posible aplicación de modelos de corrección de error y iv) la revisión de la causalidad entre consumo de electricidad y PIB, tanto en el corto como en el largo plazo.

---

<sup>16</sup> FRANCO, Carlos et al "Caracterización de la demanda mensual de electricidad en Colombia usando un modelo de componentes no observables." Universidad Nacional de Colombia, 2008

Finalmente, las consideraciones anteriores tomadas de la literatura consultada, fueron incorporadas dentro de la formulación y definición del modelo planteado en este trabajo, a fin de tener una referencia teórica que respalde tanto el modelo como los resultados, al aplicar el modelo al caso de Colombia.

### **3. El Enfoque del Estudio**

Con base en la hipótesis planteada, la literatura revisada y según lo mencionado en la parte introductoria, se trata de demostrar que el peso que el PIB tiene en el consumo de energía eléctrica en nuestro país es mucho mayor que el efecto, que en el mismo, tienen los precios de la energía eléctrica y del gas natural, así como el consumo del gas natural, lo cual es razonable teniendo en cuenta que la teoría económica nos dice que un incremento en el PIB requiere un incremento en el consumo de energía, pues es de suponer la necesidad de generación de más cantidad de recursos; razón por la cual es sustentable afirmar que si el PIB incrementa, el insumo básico para este incremento, la energía eléctrica, también aumentará sin considerar su precio, por ser un bien necesario y sin muchos sustitutos en Colombia.

Gran parte de la literatura revisada propone como variables explicativas el nivel de producción, los precios de la electricidad y algunos, los precios de los sustitutos y el consumo de períodos anteriores.

Cualquier explicación del consumo de energía eléctrica debe combinar elementos tanto de modelos basados en la demanda como de aquellos basados en la oferta, y son varios los modelos conceptuales económicos que tratan el tema. Normalmente para pronosticar variables o estimar comportamientos, se utilizan métodos estadísticos con el fin de modelar el comportamiento de una variable y estimar de la mejor manera, el comportamiento de la misma, utilizando datos históricos, con el fin de caracterizar estadísticamente el hoy y la historia.

### El Modelo Conceptual:

Generalmente, al especificar un modelo de demanda se puede suponer una función del tipo:

$$Q = f(P, P_o, I, G, y)$$

donde:

Q, representa la Cantidad Demandada del Bien,

P, su Precio,

P<sub>o</sub>, el precio de otros Bienes,

I, el Ingreso de los demandantes,

G, gustos de los demandantes

y, otros factores.

En principio, podría pensarse que para el análisis de elasticidades de cada una de las variables dependientes con la demanda, podría hacerse partiendo de la ecuación de la elasticidad, aplicando logaritmos a las variaciones porcentuales de la demanda y las otras variables. Obteniendo así la siguiente ecuación de demanda, en la cual las variaciones de demanda dependen de las variaciones en las demás variables:

$$\ln Q = \alpha_1 + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln P_o + \beta_3 \ln I + \beta_4 \ln G + \beta_5 \ln y + \mu$$

Con base en lo anteriormente expuesto del modelo conceptual y en el análisis de la literatura consultada, y con el objeto de incluir las otras variables de control que afectan el consumo de energía y que he estimado como de interés en nuestro trabajo, se plantea inicialmente el siguiente modelo de regresión<sup>17</sup> para la demanda de energía eléctrica:

$$\ln(CE_m) = \alpha_i + \beta_1 \ln(\text{PIB}_m) + \beta_2 \ln(\text{PE}_{m-1}) + \beta_3 \ln(\text{PE}_{m-2}) + \beta_4 \ln(\text{CG}_m) + \beta_5 \ln(\text{PG}_{m-1}) + \beta_6 \ln(\text{PG}_{m-2})$$

Donde:

CE<sub>m</sub>: es el Consumo de Energía Eléctrica en el mes m

PIB<sub>m</sub>: es el Producto Interno Bruto estimado del mes m

<sup>17</sup> Se detalla en el capítulo del modelo de regresión

$PE_{m-1,m-2}$ : es el Precio de la Energía Eléctrica en los meses m-1 y m-2<sup>18</sup>

$CG_m$ : es el Consumo del Gas Natural en el mes m

$PG_{m-1,m-2}$ : es el Precio del Gas Natural en los meses m-1 y m-2

$\beta_i$ : Coeficientes de cada una de las variables en el modelo

Vemos entonces, en este modelo planteado, que consideramos como variable dependiente el consumo de energía eléctrica y como variables explicativas o regresores: el PIB, el consumo de gas natural y los precios rezagados uno y dos períodos tanto del gas como de la electricidad, estos rezagos motivados por los diferentes tiempos de facturación del consumo de energía en Colombia y dado que los usuarios lo incluyen en su decisión de consumir una vez los conocen. Debe tenerse en cuenta que en la regresión considerada, no se cuenta con todas las variables explicativas del consumo de energía eléctrica, tales como los ingresos de los hogares y de la industria, la tecnología cada vez más eficiente, el uso de otros sustitutos diferentes al gas natural y el clima, el cual influye en el comportamiento del consumo en los sectores residencial, no residencial e industrial considerados en este trabajo. Por lo anterior, es posible que los resultados obtenidos tengan un sesgo en este sentido, situación que no será objeto de análisis en este trabajo; no obstante, se espera que las variables no consideradas no estén correlacionadas con el consumo de energía eléctrica.

Respecto a las variables del modelo, se espera de cierta manera que:

- El PIB condicione el consumo y posiblemente el consumo condicione al PIB, esto considerando los diferentes resultados encontrados en el análisis de la literatura; no obstante, es de mayor normalidad que el PIB condicione al consumo, pues la teoría económica nos dice que un incremento en el PIB requiere un incremento en el consumo de energía, pues es de suponer la necesidad de generación de más cantidad de recursos. ( $PIB_m \leftrightarrow CE_m$ ). Esta situación nos pudiera estar sugiriendo un problema estadístico de endogeneidad, sin embargo puesto que Yoo y Kwak [2010] presentan evidencia que en Colombia la dirección de causa es unidireccional, en este trabajo no se hace ningún esfuerzo para controlar este posible problema, pues

<sup>18</sup> Estos rezagos se explican a continuación

se espera que el sesgo no sea muy significativo, podría ser una limitación en este trabajo de profundización.

- El precio de la energía también se espera que condicione el consumo, pues al usuario conocer el precio del período(s) anterior, condiciona el consumo, y no al revés. ( $PE_{m-1,m-2} \rightarrow CE_m$ ).
- En el caso del consumo del gas natural, al considerarse como sustituto de la energía eléctrica, puede esperarse que la causalidad sea bidireccional, es decir, que vaya en cualquiera de los dos sentidos, ya que el consumo de electricidad puede condicionar el consumo de gas y viceversa; sin embargo, dados los bajos precios del gas por la reglamentación en el periodo, se espera que el gas sustituya a la electricidad y no el contrario. ( $CG_m \rightarrow CE_m$ )
- Y para el caso del precio del gas natural, se espera que al aumentar el precio del gas natural se disminuya el consumo del mismo y por ende, aumente el consumo de energía eléctrica. Aunque dadas las restricciones de oferta (transporte) de gas en el periodo histórico, donde posiblemente es la disponibilidad y no el precio quien determina la sustitución de gas por la electricidad, en tal caso el coeficiente en el precio de gas sería nulo. ( $PG_{m-1,m-2} \rightarrow CE_m$ )

Adicionalmente, los parámetros se esperan así:

$\beta_1$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al PIB. A priori, se espera que al aumentar el PIB aumente el consumo de energía eléctrica, es decir,  $\beta_1 > 0$ . Según nuestra hipótesis se espera que este coeficiente sea en magnitud mucho mayor que cero, explicando la mayor parte del CE.

$\beta_{2,3}$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto a su precio. A priori, se espera que al aumentar el precio disminuya el consumo de energía eléctrica, es decir,  $\beta_{2,3} < 0$ . No obstante, se espera que este valor sea pequeño en magnitud, pues la hipótesis y parte de la literatura analizada, nos dice que el PIB es el gran explicativo del consumo.

$B_4$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al consumo de gas natural. A priori, se espera que estos sean sustitutos, entonces al aumentar el consumo de gas natural, se espera disminuya el consumo de energía eléctrica, es decir,  $\beta_4 < 0$ . En este caso, conforme la literatura revisada, también se espera un valor muy pequeño en significancia, pues aunque son sustitutos, es pequeño el porcentaje de la demanda de energía que alcanza a ser sustituido por el gas, especialmente a nivel residencial e industrial.

$B_{5,6}$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al precio del gas natural. A priori, se espera que al aumentar el precio del gas natural aumente el consumo de energía eléctrica, es decir,  $\beta_{5,6} > 0$ . Aunque este valor se espera sea muy pequeño, incluso puede ser el menos influyente en el consumo, conforme la literatura relacionada.

Para el análisis de series de tiempo, el estudio de las relaciones de las variables a través de modelos lineales, como los mínimos cuadrados ordinarios, sería ineficiente pues este tipo de estimación, no captura todas las relaciones y dinámicas que los datos de series de tiempo poseen. Es por eso que para este estudio se emplea la metodología ARIMA, que utiliza un sistema de aproximación por el método de máxima verosimilitud para la estimación de los parámetros de interacción de las series, permitiendo además realizar un cálculo de los componentes autoregresivos y de medias móviles de la serie dependiente en sí misma.

Los modelos ARIMA al igual que las regresiones lineales, son aplicables cuando las relaciones de causalidad entre las series son principalmente de forma unidireccional<sup>19</sup>; no obstante, también son muy buena herramienta, cuando las relaciones son de forma bidireccional y simultáneas, requiriendo posiblemente, en estos últimos casos, aplicaciones adicionales de modelos VAR y VEC.

---

<sup>19</sup> Los regresores determinan la variable dependiente, pero no al contrario.

#### 4. Los Datos:

Para desarrollar este trabajo se dispone de información desde enero de 2003 hasta agosto de 2010. En la siguiente tabla se presenta la descripción de los datos inicialmente obtenidos:

Nombre	Descripción	Unidad	Resolución	Fuente
Consumo de Energía	Consumo de energía eléctrica total (sectores residencial, no residencial e industrial)	kWh	Mensual	XM S.A. E.S.P. <sup>20</sup> SSPD <sup>21</sup>
PIB	Producto Interno Bruto en precios corrientes base 2005	Miles de millones \$	Trimestral <sup>22</sup>	DANE <sup>23</sup>
Precio Energía Eléctrica	Tarifa promedio ponderado mensual de la energía eléctrica (sectores residencial, no residencial e industrial)	\$/kWh	Mensual	XM S.A. E.S.P. SSPD
Consumo Gas Natural	Consumo de gas natural total (sectores residencial, no residencial e industrial)	M <sup>3</sup>	Mensual	SSPD
Precio Gas Natural	Tarifa promedio ponderado mensual del gas natural (sectores residencial, no residencial e industrial)	\$/M <sup>3</sup>	Mensual	SSPD

Dado que la periodicidad de las series de consumo y precios de energía y gas es mensual, y el dato emitido por el DANE acerca del PIB es trimestral, no es posible realizar estimaciones directas con estos datos, y transformar las series de mensuales a trimestrales no nos permitiría contar con una cantidad suficiente de datos para un buen análisis estadístico y además nos haría perder mucha información acerca de la variación de nuestra serie, restringiendo aún más los datos pudiendo perder significancia estadística de los resultados.

Es por esto que se tomó la decisión en este trabajo de realizar una desagregación de la serie del Producto Interno Bruto, de una periodicidad trimestral a una mensual a través de la metodología introducida por Chow-Lin [1971], cuyo desarrollo matemático se explica brevemente a continuación pero cuya intuición consiste en encontrar algunas series con una periodicidad igual a la que se busca estimar para nuestra variable de interés, que estén fuertemente relacionadas con esta. Esto nos permite entonces disponer de mayor

<sup>20</sup> XM S.A. E.S.P.: Compañía de Expertos en Mercados – [www.xm.com.co](http://www.xm.com.co)

<sup>21</sup> SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos – [www.sui.gov.co](http://www.sui.gov.co)

<sup>22</sup> Esta serie originalmente se obtuvo trimestral, pero se mensualizó para este análisis

<sup>23</sup> Departamento Nacional de Estadística – [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

cantidad de datos históricos para nuestro análisis estadístico, obviamente haciendo la claridad que esta mensualización no se realiza con ningún fin de pronosticar, solo de aumentar de una manera segura y confiable, nuestra serie de tiempo en esta variable.

### Estimación Mensual del PIB recomendada por Chow\_Lin [1971]:

Para el caso de la presente estimación se utilizaron como series aproximadas la producción identificada en la muestra mensual manufacturera (variable procíclica), encuesta realizada por el DANE para la cual se encontró una fuerte correlación con el PIB, la tasa de empleo y la inflación (variables procíclicas). Donde es de esperar, por su misma condición de variables procíclicas, que los coeficientes sean positivos.

Del PIB a su vez se utilizó la serie 2003-2010 a precios corrientes medido a través de la metodología precios base 2005. Ya que se encontró una no estacionariedad de la serie del PIB, ni en nivel ni en tendencia, para este proceso se trabajó con las series en diferencias, que si presentan estacionariedad.

```
. reg dpib dipc ddes dmmm,robust
```

```
Linear regression
```

```
Number of obs = 38
F( 3, 34) = 8.91
Prob > F = 0.0002
R-squared = 0.4736
Root MSE = 1073.1
```

dpib	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
dipc	<b>847.5176</b>	<b>289.3789</b>	<b>2.93</b>	<b>0.006</b>	<b>259.429</b>	<b>1435.606</b>
ddes	<b>276.9916</b>	<b>167.8553</b>	<b>1.65</b>	<b>0.108</b>	<b>-64.1313</b>	<b>618.1146</b>
dmmm	<b>58.33128</b>	<b>12.76577</b>	<b>4.57</b>	<b>0.000</b>	<b>32.38812</b>	<b>84.27445</b>
_cons	<b>775.9963</b>	<b>436.8741</b>	<b>1.78</b>	<b>0.085</b>	<b>-111.8387</b>	<b>1663.831</b>

Donde:

dpib: Diferencias del Producto Interno Bruto, variable a mensualizar.

dipc: Diferencias de la inflación. A mayor inflación aumenta el PIB, el coeficiente obtenido es correcto tanto en signo como en magnitud, pues es la inflación un gran jalador del PIB en los países.

ddes: Diferencias de la variable empleo. A más empleo, mayor será el PIB, lo que nos muestra que el coeficiente obtenido tiene el sentido correcto.

dmmm: Diferencias de la muestra mensual manufacturera, cuyo coeficiente se esperaba de signo positivo por su condición también de variable procíclica.

Como se evidencia en el coeficiente de determinación de la regresión lineal entre el PIB y las variables utilizadas, existe una fuerte relación entre las series, tanto así que las series relacionadas alcanzan a capturar casi el 50% ( $r^2 = .4736$ ) de las variaciones del PIB, lo que las hace unas variables indicadas para la desagregación por el método de Chow-Lin, conforme la siguiente matemática que se aplica en esta metodología<sup>24</sup>:

Sea  $n$  el número de realizaciones que tenemos sobre nuestra variable trimestral, y sean  $y$  y vector  $3n \times 1$  una representación de la serie del PIB mensual y  $x$  una matriz de información de tamaño  $3n \times p$  con nuestras  $p$  variables relacionadas. La ecuación que representa la relación de dichas variables a lo largo de los  $3n$  meses es:

$$y = x\beta + u \quad (1)$$

Donde  $\beta$  es un vector de parámetros de tamaño  $p \times 1$ , y  $u$  es un vector aleatorio con media 0 y matriz de covarianza  $v$ . Sea  $C$  la matriz que transforma las  $3n$  observaciones mensuales por  $n$  observaciones trimestrales, que toma la forma:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & & & & & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Las representaciones trimestrales  $Y$ ,  $X$  y  $U$  de las variables mensuales presentes en la ecuación (1), cumplirán ahora la siguiente relación:

$$Y = Cy = Cx\beta + Cu = X\beta + U \quad (2)$$

<sup>24</sup> Fuente: ChowLin1971] Chow G.C. and A. Lin (1971), Best Linear Unbiased Interpolation, Distribution, and Extrapolation of Time Series by Related Series. Review of Economics and Statistics 53, 372-375.

Con

$$E(UU') = V = CvC' \quad (3)$$

El problema de la estimación será entonces, encontrar un vector  $Z$  de  $m$  observaciones, idéntico a  $Y$ , para la cual un estimador lineal insesgado  $\hat{Z}$  para alguna matriz  $m \times n$   $A$  sería:

$$\hat{Z} = AY = A(X\beta + U) \quad (4)$$

Con  $X_z$  y  $U_z$  siendo las variables en el modelo de regresión para  $Z$ . Teniendo que:

$$\text{Cov}(\hat{Z} - Z) = E(AU - U_z)(AU - U_z)' = AVA' - AV_{uz} - V_{zu}A + V_z \quad (5)$$

Donde  $V_{uz}$  representa  $E(UU_z')$  y  $V_z$  representa  $E(U_zU_z')$ .

Siguiendo a Chow-Lin (1971) tenemos entonces que para encontrar el mejor estimador lineal insesgado de  $Z$ , debemos minimizar la traza de (5), sujeto a la matriz de ecuaciones de tamaño  $m \times n$   $AX - X_z = 0$ , condición que garantiza la insesgadez del estimador; usando una matriz  $M$   $m \times p$  de multiplicadores de Lagrange, podemos formar la expresión lagrangiana:

$$L = \frac{1}{2} \text{tr}[AVA' - AV_{uz} - V_{zu}A + V_z] - \text{tr}[M'(AX - X_z)] \quad (6)$$

Igualando las derivadas parciales a cero, y realizando la respectiva algebra matricial y reemplazamientos<sup>25</sup> obtenemos las respectivas soluciones para  $M$  y  $A$ , y el resultante estimador para  $Z$ :

$$M = X_z(X'V^{-1}X)^{-1} - (V_{zu}V^{-1})X(X'V^{-1}X)^{-1} \quad (7)$$

$$A = X_z(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1} + V_{zu}V^{-1}[I - X(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}] \quad (8)$$

$$\hat{Z} = AY = X_z\hat{\beta} + (V_{zu}V^{-1})\hat{U} \quad (9)$$

<sup>25</sup> Ver Chow Lin(1971) para más detalles

Donde

$$\hat{\beta} = (X'V^{-1}X)^{-1} X'V^{-1}Y \quad (10)$$

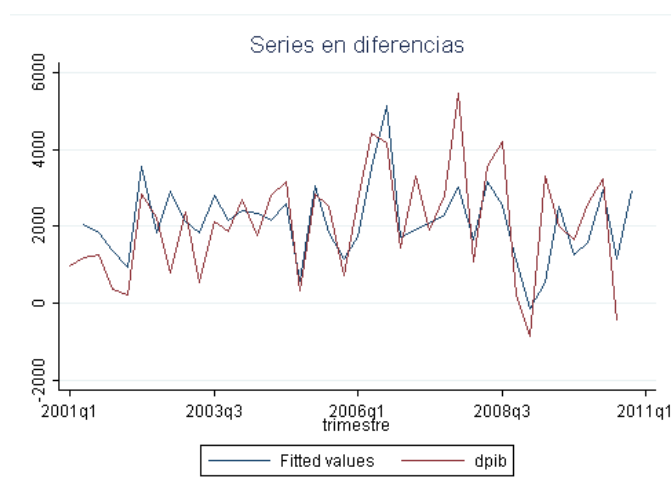
Es el vector de coeficientes estimados en la regresión de mínimos cuadrados para las  $n$  observaciones trimestrales, y

$$\hat{U} = [I - X(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}]Y \quad (11)$$

Es el vector  $nx1$  de residuales en la regresión utilizando datos trimestrales. La estimación de (9) es llevada a cabo por el método de mínimos cuadrados generalizados y requiere el conocimiento de la matriz de covarianza  $v$ , para lo cual se asume un comportamiento autoregresivo de orden 1 para los residuales  $u$ , cuyo coeficiente de autocorrelación  $\alpha$ , para nuestro caso será estimado por un procedimiento de minimización de errores, dentro del mismo algoritmo de estimación de  $Z$ , que es en últimas la aproximación por este método a la variable  $y$ , es decir,  $Z$  es la mejor estimación lineal insesgada del PIB mensual.

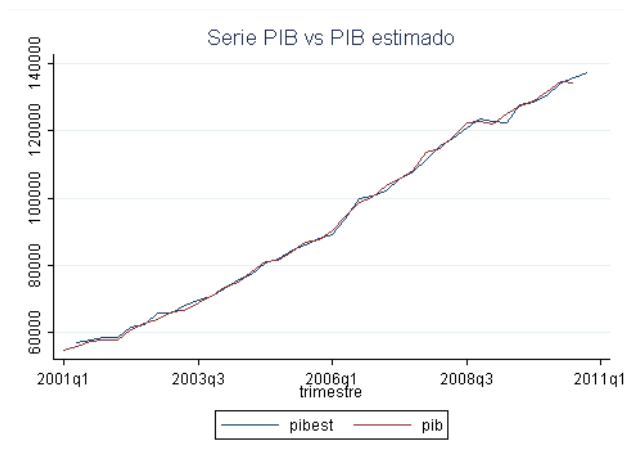
Una vez aplicada esta metodología con las series de aproximación señaladas, veamos en el gráfico 5 las series estimadas por la regresión con respecto a las series del PIB actual.

Grafico 5: Series mensuales en Diferencias  
PIB Estimado (Fitted values) vs PIB Actual (dpib)



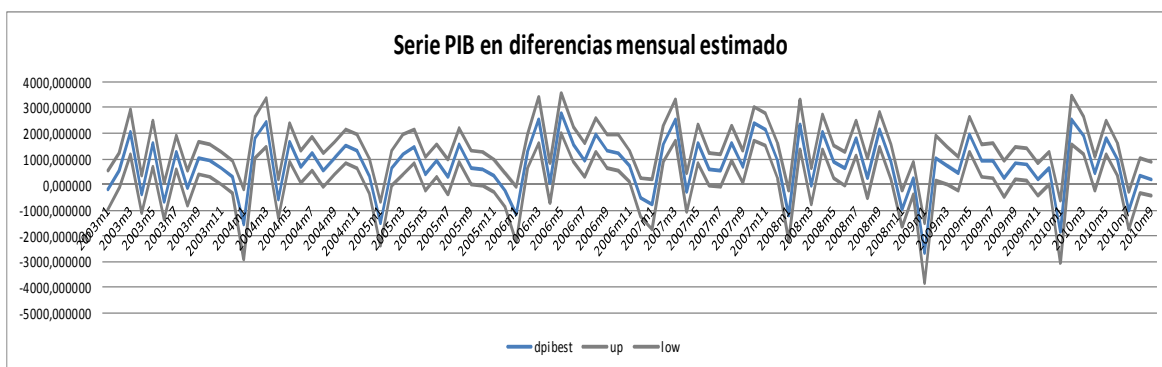
Y en el gráfico 6, veamos las series reales:

Grafico 6: Series mensuales PIB Estimado (pibest) vs PIB Real (pib)



La serie mensual estimada que se muestra en el gráfico 7, es la obtenida por la metodología Chow-Lin empleada:

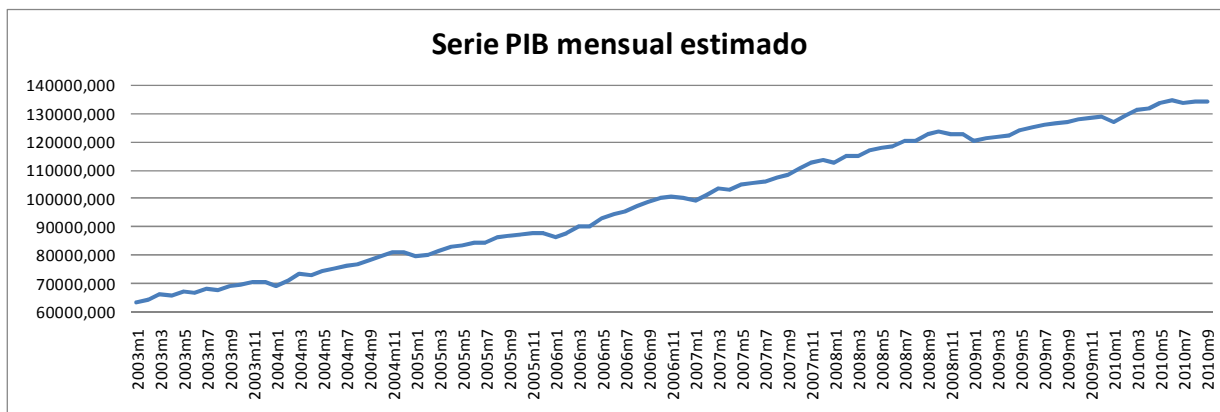
Grafico 7: Serie PIB en diferencias mensual estimado (dpibest)



Up y low: Niveles de confianza superior e inferior respectivamente

Y en el gráfico 8 tenemos la serie del PIB mensual estimado:

Grafico 8: Serie PIB mensual estimado



Con base en lo anterior, disponemos ahora entonces de la serie del PIB estimada apropiadamente con periodicidad mensual, desde enero de 2003 hasta agosto de 2010, lo que nos permite aprovechar todos los datos de las demás variables de interés y facilita por ende la obtención de mejores resultados aprovechando la mayor cantidad de datos en el análisis de este trabajo.

Por lo anterior, los datos definitivos para trabajar el modelo propuesto son:

Nombre	Descripción	Unidad	Resolución	Fuente
Consumo de Energía	Consumo de energía eléctrica total (sectores residencial, no residencial e industrial)	kWh	Mensual	XM S.A. E.S.P. SSPD
PIB	Producto Interno Bruto en precios corrientes base 2005	Miles de millones \$	Mensual	DANE/estimado
Precio Energía Eléctrica	Tarifa promedio ponderado mensual de la energía eléctrica (sectores residencial, no residencial e industrial)	\$/kWh	Mensual	XM S.A. E.S.P. SSPD
Consumo Gas Natural	Consumo de gas natural total (sectores residencial, no residencial e industrial)	M <sup>3</sup>	Mensual	SSPD
Precio Gas Natural	Tarifa promedio ponderado mensual del gas natural (sectores residencial, no residencial e industrial)	\$/M <sup>3</sup>	Mensual	SSPD

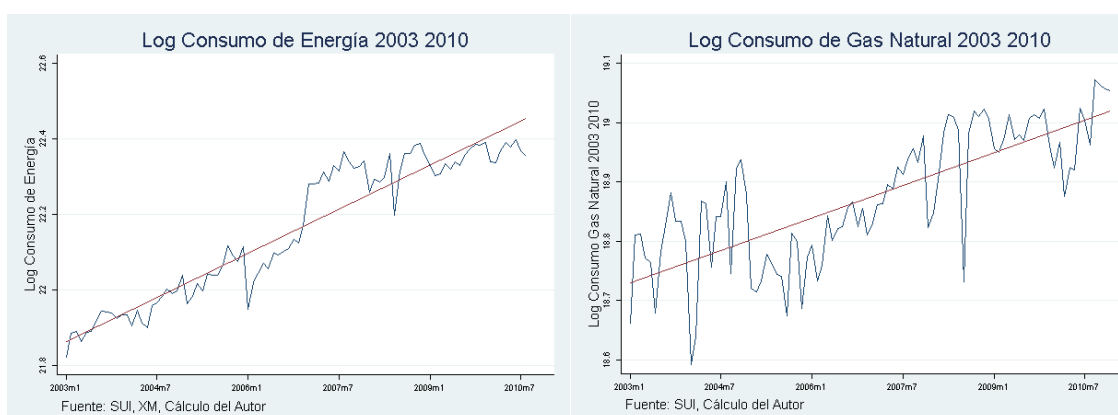
Y en stata se identifican de la siguiente manera:

Nombre	Nombre en Stata	Descripción
Consumo de Energía	In_e_tot	Logaritmo natural del consumo de energía eléctrica para cada mes
PIB	In_pibest	Logaritmo natural del Producto Interno Bruto en pesos constantes para cada mes
Precio Energía Eléctrica	In_p_e_tot	Logaritmo natural del precio promedio mensual de la tarifa de consumo de energía eléctrica
Consumo Gas Natural	In_p_g_tot	Logaritmo natural del precio promedio mensual de la tarifa de consumo de gas natural
Precio Gas Natural	In_g_tot	Logaritmo natural del consumo de gas natural para cada mes

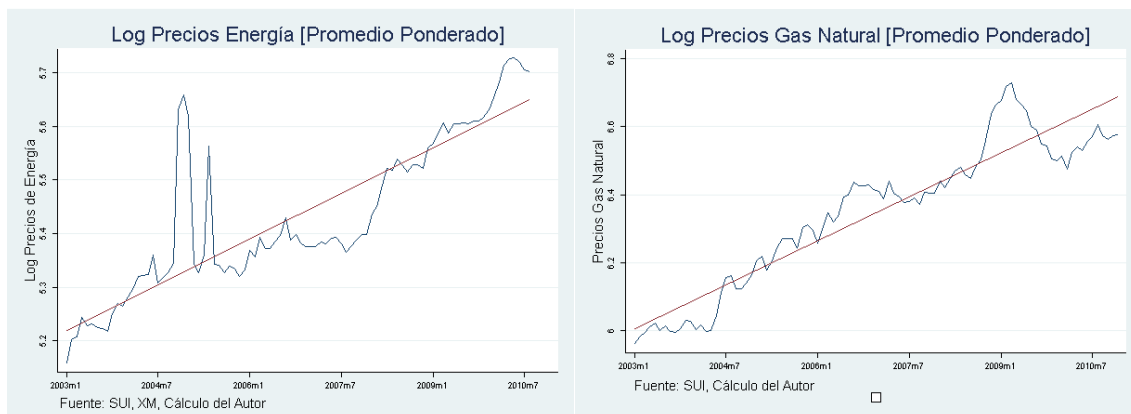
Con el objetivo de revisar la validez de la hipótesis planteada y conforme el modelo conceptual que soporta el propósito, considero como variable dependiente el consumo de energía, y como variables independientes o regresores, el PIB mensual estimado, los precios de la energía, el consumo de gas natural y los precios del gas natural. Estas series de datos se consideran con periodicidad mensual desde 2003 hasta agosto 2010.

En el Anexo <sup>26</sup>a este trabajo, se presenta el detalle del análisis de las series de datos considerados; no obstante veámoslos en el gráfico 9 y la respectiva línea de tendencia en cada uno de ellos.

Gráfico 9: Logaritmos de las series de datos



<sup>26</sup> Anexo: Análisis de las Series de Datos (Al final de este trabajo, después de las referencias bibliográficas)



Como conclusión relevante se resalta que por las características mismas de las series a utilizar, era de esperarse que se presentara una tendencia creciente a lo largo del tiempo, y era de esperarse la no estacionariedad en nivel de las mismas, sin embargo, se encontró<sup>27</sup> una estacionariedad en tendencia de la serie de importancia (logaritmo del consumo de energía), por lo que al momento de la estimación será fundamental la inclusión de la variable tiempo, para así lograr extraer ese componente tendencial de la serie, y poder asegurar una estimación sobre datos estacionarios.

La tendencia creciente de la población y el crecimiento de la actividad económica en el país ocasiona la tendencia con pendiente positiva en las series de consumo.

Con base en lo anterior y en el anexo de análisis de las series, se concluye trabajarlas en logaritmos de manera que nos permite analizar los coeficientes directamente como elasticidades.

## 5. El Modelo de Regresión

De acuerdo con la teoría expuesta y los datos con que se cuenta para acometer el trabajo, se utilizará la metodología de un modelo ARIMA. La técnica utilizada para la estimación en los modelos ARIMA, es la de máxima verosimilitud, procedimiento, que basado en supuestos sobre la distribución que siguen los errores en el modelo, y por ende la variable dependiente misma, utiliza distintos métodos numéricos para estimar los

<sup>27</sup> Ver Anexo: Análisis de las Series de Datos

parámetros asociados a las variables y a los componentes autoregresivos y de medias móviles, que minimicen la diferencia entre la distribución teórica y la distribución real de los datos. En aproximaciones por el método de máxima verosimilitud los parámetros estimados son insesgados y asintóticamente eficientes.

Siguiendo la literatura encontrada y lo mencionado anteriormente, se estimará, tal como se indicó en el modelo conceptual, la siguiente ecuación inicialmente para el análisis del consumo de energía eléctrica:

$$\ln(CE_m) = \alpha_i + \beta_1 \ln(PIB_m) + \beta_2 \ln(PE_{m-1}) + \beta_3 \ln(PE_{m-2}) + \beta_4 \ln(CG_m) + \beta_5 \ln(PG_{m-1}) + \beta_6 \ln(PG_{m-2})$$

Donde:

$CE_m$ : es el Consumo de Energía Eléctrica en el mes m

$PIB_m$ : es el Producto Interno Bruto estimado del mes m

$PE_{m-1,m-2}$ : es el Precio de la Energía Eléctrica en los meses m-1 y m-2<sup>28</sup>

$CG_m$ : es el Consumo del Gas Natural en el mes m

$PG_{m-1,m-2}$ : es el Precio del Gas Natural en los meses m-1 y m-2

$\beta_i$ : Coeficientes de cada una de las variables en el modelo

Como se explicó en el modelo conceptual, relaciono de manera resumida los signos esperados de los coeficientes de cada una de las variables del modelo:

$\beta_1$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al PIB ( $\beta_1 >> 0$ )

$\beta_{2,3}$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto a su precio ( $\beta_{2,3} < 0$ )

$\beta_4$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al consumo de gas natural ( $\beta_4 < 0$ )

$\beta_{5,6}$ : elasticidad del consumo de energía eléctrica con respecto al precio del gas natural ( $\beta_{5,6} > 0$ )

<sup>28</sup> Estos rezagos se explican a continuación

Vemos entonces y como lo mencionamos anteriormente, que en este modelo planteado consideramos como variable dependiente el consumo de energía eléctrica y como variables explicativas o regresores: el PIB, el consumo de gas natural y los precios rezagados uno y dos períodos tanto del gas como de la electricidad, estos rezagos motivados por los diferentes tiempos de facturación del consumo de energía en Colombia y dado que los usuarios lo incluyen en su decisión de consumir una vez los conocen. Debe tenerse en cuenta que en la regresión considerada, no se cuenta con todas las variables explicativas del consumo de energía eléctrica, tales como los ingresos de los hogares y de la industria, la tecnología cada vez más eficiente, el uso de otros sustitutos diferentes al gas natural y el clima, el cual influye en el comportamiento del consumo en los sectores residencial, no residencial e industrial considerados en este trabajo. Por lo anterior, es posible que los resultados obtenidos tengan un sesgo en este sentido, situación que no será objeto de análisis en este trabajo; no obstante, se espera que las variables no consideradas estén correlacionadas con el consumo de energía eléctrica.

Para hacer el análisis de Autocorrelación de la variable  $\ln\_e\_tot$ , es necesario extraer su componente tendencial pues es sin éste cuando resulta estacionaria la variable.

Se hace una regresión de la variable dependiente con respecto al tiempo y se predicen los errores de esta estimación para extraer de esta manera el componente tendencial.

```
. reg ln_e_tot t
```

Source	SS	df	MS			
Model	<b>2.72716636</b>	<b>1</b>	<b>2.72716636</b>	Number of obs =	<b>92</b>	
Residual	<b>.287373033</b>	<b>90</b>	<b>.003193034</b>	F( 1, 90) =	<b>854.10</b>	
Total	<b>3.0145394</b>	<b>91</b>	<b>.033126807</b>	Prob > F =	<b>0.0000</b>	
				R-squared =	<b>0.9047</b>	
				Adj R-squared =	<b>0.9036</b>	
				Root MSE =	<b>.05651</b>	

$\ln\_e\_tot$	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
t	<b>.0064832</b>	<b>.0002218</b>	<b>29.22</b>	<b>0.000</b>	<b>.0060425</b>	<b>.0069239</b>
_cons	<b>21.85779</b>	<b>.0118792</b>	<b>1840.00</b>	<b>0.000</b>	<b>21.83419</b>	<b>21.88139</b>

Es sobre estos errores a partir de los cuales se va a hacer el análisis de autocorrelación.

. corrgram r

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 [Autocorrelation]	0	1	-1 [Partial Autocor]	0	1
1	0.7142	0.7399	48.474	0.0000						
2	0.6282	0.2561	86.393	0.0000						
3	0.5639	0.1079	117.29	0.0000						
4	0.4167	-0.1537	134.35	0.0000						
5	0.3693	0.0423	147.91	0.0000						
6	0.3143	0.0419	157.84	0.0000						
7	0.2167	-0.0627	162.62	0.0000						
8	0.1579	-0.0468	165.19	0.0000						
9	0.1234	0.0030	166.78	0.0000						
10	0.0607	-0.0551	167.16	0.0000						
11	0.0579	0.0491	167.52	0.0000						
12	0.0014	-0.0821	167.52	0.0000						
13	-0.0074	0.0504	167.53	0.0000						
14	-0.0657	-0.1069	168.01	0.0000						
15	-0.0904	0.0100	168.92	0.0000						
16	-0.0932	0.0342	169.91	0.0000						
17	-0.1737	-0.1674	173.39	0.0000						
18	-0.1483	0.0955	175.96	0.0000						
19	-0.1479	0.0334	178.55	0.0000						
20	-0.1434	0.0339	181.02	0.0000						
21	-0.1585	-0.1614	184.08	0.0000						
22	-0.1800	-0.1716	188.08	0.0000						
23	-0.1938	-0.0356	192.79	0.0000						
24	-0.1857	0.0225	197.17	0.0000						
25	-0.1786	0.0247	201.29	0.0000						
26	-0.2019	-0.0912	206.63	0.0000						
27	-0.2544	-0.1365	215.25	0.0000						
28	-0.2679	-0.0706	224.94	0.0000						
29	-0.2426	0.0647	233.02	0.0000						
30	-0.3038	-0.2215	245.89	0.0000						
31	-0.3014	-0.0695	258.77	0.0000						
32	-0.3327	-0.1649	274.73	0.0000						
33	-0.3282	0.0323	290.52	0.0000						
34	-0.3079	-0.1722	304.65	0.0000						
35	-0.2833	-0.0779	316.83	0.0000						
36	-0.2126	0.2655	323.81	0.0000						
37	-0.2050	-0.2776	330.42	0.0000						
38	-0.1541	0.0184	334.22	0.0000						
39	-0.1516	-0.4277	337.97	0.0000						
40	-0.1244	0.0102	340.54	0.0000						

Al parecer hay una caída en el ACF y se pueden observar unos posibles cortes en los dos primeros y en el cuarto rezago del PACF, procedemos entonces a hacer la estimación ARIMA (método que utiliza la aproximación de máxima verosimilitud para la estimación de los coeficientes y la varianza del proceso):



. corrgram r

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 [Autocorrelation]	0	1	-1 [Partial Autocor]	0	1
1	-0.0383	-0.0390	.13957	0.7087						
2	-0.0695	-0.0729	.60362	0.7395						
3	0.1309	0.1297	2.2694	0.5184						
4	-0.0688	-0.0678	2.7347	0.6032						
5	0.0218	0.0360	2.782	0.7335						
6	0.1045	0.0879	3.8799	0.6929						
7	-0.0082	0.0171	3.8868	0.7927						
8	0.0046	0.0071	3.8889	0.8670						
9	0.0459	0.0328	4.108	0.9042						
10	-0.0575	-0.0485	4.4572	0.9244						
11	0.0562	0.0584	4.7946	0.9407						
12	-0.0373	-0.0615	4.9452	0.9598						
13	0.0470	0.0793	5.1865	0.9709						
14	-0.0515	-0.0909	5.4805	0.9779						
15	-0.0121	0.0071	5.4968	0.9870						
16	0.1006	0.0880	6.6487	0.9795						
17	-0.1816	-0.1973	10.449	0.8837						
18	-0.0283	-0.0271	10.543	0.9127						
19	0.0350	-0.0120	10.688	0.9339						
20	0.0745	0.1562	11.355	0.9365						
21	0.0260	0.0467	11.438	0.9536						
22	-0.0510	-0.0861	11.759	0.9622						
23	-0.0990	-0.1042	12.987	0.9523						
24	-0.0267	-0.0658	13.078	0.9648						
25	0.0300	0.0471	13.194	0.9740						
26	-0.0137	-0.0131	13.218	0.9819						
27	-0.0422	-0.1070	13.455	0.9860						
28	-0.0880	-0.1166	14.501	0.9832						
29	0.0822	0.1033	15.428	0.9814						
30	-0.0897	-0.1215	16.55	0.9776						
31	-0.0132	-0.0068	16.575	0.9840						
32	-0.0492	-0.1739	16.924	0.9867						
33	-0.0795	0.0282	17.851	0.9853						
34	-0.0801	-0.2016	18.806	0.9837						
35	-0.0912	-0.3107	20.068	0.9797						
36	0.0645	0.1699	20.711	0.9806						
37	-0.0733	-0.1512	21.557	0.9799						
38	0.0202	0.1531	21.622	0.9849						
39	-0.0989	-0.4232	23.219	0.9788						
40	-0.0516	-0.1481	23.661	0.9813						

Al parecer ya se corrigieron la mayoría de las posibles correlaciones (se hicieron las estimaciones con AR (3y17) y MA (3y17) y resultaron estadísticamente no significativas). Dado lo anterior, comenzamos a trabajar el modelo propuesto con AR (1y2) incluyendo las variables independientes, obteniendo inicialmente:

```
. arima ln_e_tot ln_pibest 1.ln_p_e_tot 12.ln_p_e_tot ln_g_tot 1.ln_p_g_tot 12.ln_p_g_tot
```

ARIMA regression

Sample: 3 - 92

Number of obs = 90

Wald chi2(9) = 797.67

Log pseudolikelihood = 177.1264

Prob &gt; chi2 = 0.0000

ln_e_tot	Coef.	Semi-robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>ln_e_tot</b>						
ln_pibest	.9568996	.3943347	2.43	0.015	.1840178	1.729781
ln_p_e_tot	-.043725	.0565402	-0.77	0.439	-.1545418	.0670917
L1.	-.0771028	.0602512	-1.28	0.201	-.195193	.0409874
L2.	.0237734	.0497615	0.48	0.633	-.0737572	.1213041
ln_g_tot						
ln_p_g_tot	.1533684	.1148723	1.34	0.182	-.0717772	.3785141
L1.	-.2093775	.1449753	-1.44	0.149	-.493524	.0747689
L2.	-.0008479	.0031893	-0.27	0.790	-.0070988	.005403
t	11.77338	4.232654	2.78	0.005	3.477526	20.06923
_cons						
<b>ARMA</b>						
ar						
L1.	.427464	.1252141	3.41	0.001	.182049	.6728791
L2.	.2735849	.1549423	1.77	0.077	-.0300965	.5772662
/sigma	.0337007	.004717	7.14	0.000	.0244556	.0429459

En primera instancia observamos que los signos de los coeficientes dan según lo esperado, a excepción del consumo de gas (aunque es un valor pequeño y de muy poco efecto) y del segundo rezago del precio del gas natural, cuyos signos no son los esperados conforme nuestro modelo conceptual<sup>29</sup> y además resultan no significativos. Lo anterior, conversa con algunas conclusiones de la literatura analizada, así como también lo hace la gran significancia (cercana a la unidad) que presenta el PIB, quien en todo el estado del arte sobresale por ser la variable más explicativa o con mayor significancia en el consumo de energía seguida del precio de la misma, normalmente rezagado, precisando que el segundo rezago de este precio es el más significativo en este modelo inicial.

Después de esta primera corrida y dado que el consumo de gas natural y su precio rezagado dos períodos resultaron con signo contrario al esperado, procedo a no considerar en el modelo estas variables y a realizar las nuevas corridas y validaciones.

<sup>29</sup> Esta situación motiva ofrecer otra posible solución en este trabajo

```
. arima ln_e_tot ln_pibest l1.ln_p_e_tot l2.ln_p_e_tot l1.ln_p_g_tot t, nolog vce(robust) ar(1)
```

ARIMA regression

Sample: 3 - 92

Number of obs = 90  
Wald chi2(6) = 1090.95  
Prob > chi2 = 0.0000

Log pseudolikelihood = 173.1512

ln_e_tot	Coef.	Semi-robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>ln_e_tot</b>						
ln_pibest	<b>1.014029</b>	<b>.3732552</b>	<b>2.72</b>	<b>0.007</b>	<b>.2824618</b>	<b>1.745595</b>
ln_p_e_tot						
L1.	-.0381975	.0614924	-0.62	0.534	-.1587203	.0823253
L2.	-.0929127	.0705825	-1.32	0.188	-.2312518	.0454264
ln_p_g_tot						
L1.	-.0112067	.0912286	-0.12	0.902	-.1900116	.1675981
t	-.0015304	.0030841	-0.50	0.620	-.0075751	.0045142
_cons	<b>11.37202</b>	<b>4.215213</b>	<b>2.70</b>	<b>0.007</b>	<b>3.110349</b>	<b>19.63368</b>
<b>ARMA</b>						
ar						
L1.	<b>.5827778</b>	<b>.0997116</b>	<b>5.84</b>	<b>0.000</b>	<b>.3873467</b>	<b>.7782089</b>
/sigma	<b>.0352551</b>	<b>.0049088</b>	<b>7.18</b>	<b>0.000</b>	<b>.0256341</b>	<b>.0448762</b>

En este modelo no aparece el AR(2) porque resultó no significativo, además aparece el signo no esperado en el coeficiente de la variable precio del gas natural rezagado un período, igualmente de magnitud muy pequeña; y por lo anteriormente explicado, procedo a no considerar esta variable para así obtener el modelo:

```
. arima ln_e_tot ln_pibest l1.ln_p_e_tot l2.ln_p_e_tot t, nolog vce(robust) ar(1)
```

ARIMA regression

Sample: 3 - 92

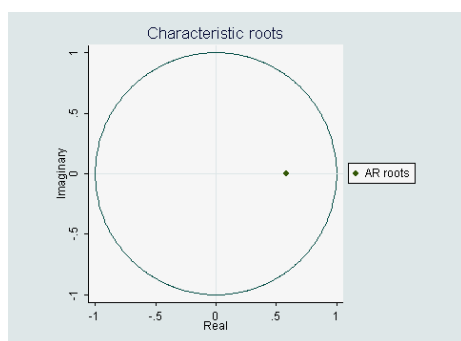
Number of obs = 90  
Wald chi2(5) = 1056.82  
Prob > chi2 = 0.0000

Log pseudolikelihood = 173.1461

ln_e_tot	Coef.	Semi-robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>ln_e_tot</b>						
ln_pibest	<b>1.006149</b>	<b>.3796634</b>	<b>2.65</b>	<b>0.008</b>	<b>.262023</b>	<b>1.750276</b>
ln_p_e_tot						
L1.	-.0374059	.0624198	-0.60	0.549	-.1597465	.0849347
L2.	-.0936333	.0715078	-1.31	0.190	-.2337859	.0465193
t	-.001548	.0034687	-0.45	0.655	-.0083465	.0052505
_cons	<b>11.39195</b>	<b>4.579708</b>	<b>2.49</b>	<b>0.013</b>	<b>2.415888</b>	<b>20.36801</b>
<b>ARMA</b>						
ar						
L1.	<b>.585694</b>	<b>.0892716</b>	<b>6.56</b>	<b>0.000</b>	<b>.4107249</b>	<b>.7606631</b>
/sigma	<b>.035256</b>	<b>.0049139</b>	<b>7.17</b>	<b>0.000</b>	<b>.025625</b>	<b>.044887</b>

Aunque los signos están tal como esperaba, el resultado propone eliminar la variable t, es preciso reconfirmar no tener problemas de no estacionariedad en las estimaciones, veámoslo en la gráfica 10:

Gráfica 10: Círculo de Raíces Unitarias



Revisemos entonces si se pudieran estar presentando valores atípicos que ocasionen una distribución no normal:

Test de normalidad:

```
. sfrancia r
```

Shapiro-Francia w' test for normal data

variable	Obs	w'	v'	z	Prob>z
r	91	0.89671	8.641	4.133	0.00002

Pvalue < 0.05 → rechazo Ho → No Normalidad

Valido con otro test de normalidad:

```
. sktest r
```

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
r	91	0.381	0.000	.	0.0000

También da No Normal

Efectivamente existe una no normalidad causada por valores atípicos, entonces pudiera agregar dummies que controlen este tipo de valores atípicos. Para encontrar los valores atípicos creamos una dummy que tome el valor de 1 si el cambio en nuestra variable dependiente es menor que la media menos 2 veces la desviación estándar (método generalizado para controlar valores atípicos) y cero en otro caso. Con el fin de controlar los valores atípicos que se puedan estar presentando en la serie de datos de la variable dependiente, tanto por debajo como por encima, genero las variables dummy\_lo y dummy\_up, respectivamente.

Incorporando estas variables al modelo y realizando las respectivas corridas con múltiples combinaciones, el mejor modelo obtenido resulta el siguiente, en el cual incluso, no resultó significativa la dummy\_up:

```
. arima ln_e_tot ln_pibest l1.ln_p_e_tot l2.ln_p_e_tot t dummy_lo, nolog vce(robust) ar(1)
```

ARIMA regression

Sample: 3 - 92  
 Log pseudolikelihood = 192.5534  
 Number of obs = 90  
 Wald chi2(6) = 695.13  
 Prob > chi2 = 0.0000

ln_e_tot	Coef.	Semi-robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>ln_e_tot</b>						
ln_pibest	.5607943	.3552969	1.58	0.114	-.1355749	1.257163
ln_p_e_tot						
L1.	-.049347	.0695765	-0.71	0.478	-.1857145	.0870205
L2.	-.0963276	.0726287	-1.33	0.185	-.2386772	.046022
t	.0022639	.0030967	0.73	0.465	-.0038055	.0083333
dummy_lo	-.098707	.0218578	-4.52	0.000	-.1415475	-.0558664
_cons	16.40881	4.041354	4.06	0.000	8.487903	24.32972
<b>ARMA</b>						
ar						
L1.	.7444004	.0992673	7.50	0.000	.54984	.9389608
/sigma	.0283562	.0027038	10.49	0.000	.0230568	.0336556

El cual definitivamente nos muestra que es el PIB la variable con más peso en la explicación del consumo de energía eléctrica. No obstante lo anterior, este modelo continúa sugiriendo no considerar la variable t, la cual desde el momento de decisión del modelo a emplear fue tomada en cuenta con el fin de lograr extraer ese componente tendencial de la serie, y poder asegurar una estimación sobre datos estacionarios. Por lo anterior, para no corregir tendencia con la variable t, debemos asegurar que es

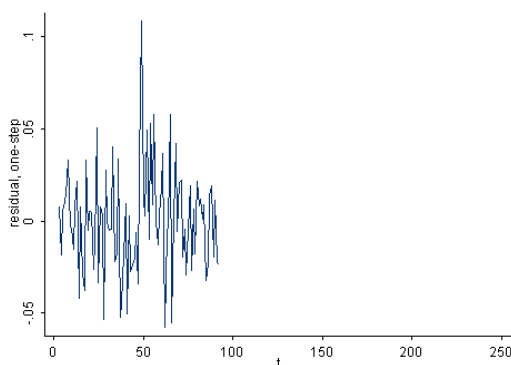
cointegrado y así no la necesitaríamos en nuestro modelo, pues aunque tenga tendencia, esta no sería espúrea por lo que no estaría sesgado.

Antes, sin incluir la variable tendencia, vemos que el Durbin Watson del modelo es cercano a 2, lo que nos muestra que no tenemos problemas de correlación y no tenemos entonces problemas de sesgo en las estadísticas.

```
. dwstat
Durbin-watson d-statistic( ., 90) = 2.162445
```

Analicemos entonces los residuales para ver si son estacionarios, veamos la gráfica 11:

Gráfica 11: Análisis de los Residuales



Al parecer son estacionarios, veamos el test de Dickey-Fuller de raíces unitarias:

```
. dfuller r
Dickey-Fuller test for unit root          Number of obs   =      89
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
          Test Statistic      1% Critical Value      5% Critical Value      10% Critical Value
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
          z(t)                -10.117                -3.525                -2.899                -2.584
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
Mackinnon approximate p-value for z(t) = 0.0000
```

Y corroboramos con otro test:

```
. pperron r
Phillips-Perron test for unit root                    Number of obs =      89
                                                    Newey-West lags =     3

----- Interpolated Dickey-Fuller -----
                Test          1% Critical   5% Critical   10% Critical
                Statistic      Value         Value         Value
-----
Z(rho)          -100.495        -19.602        -13.612        -10.934
Z(t)            -10.101          -3.525         -2.899         -2.584
-----
* Mackinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

Garantizamos entonces así, que los residuales no tienen tendencia, el modelo está cointegrado y no requiere la variable t.

Por todo lo anterior, el modelo definitivo al cual he llegado después de las corridas y validaciones anteriores, es el siguiente:

```
. arima ln_e_tot ln_pibest 1.ln_p_e_tot 12.ln_p_e_tot dummy_lo, nolog vce(robust) ar(1)
ARIMA regression
Sample: 3 - 92                    Number of obs =      90
                                Wald chi2(5) =     805.22
Log pseudolikelihood = 192.1679  Prob > chi2 =     0.0000
```

ln_e_tot	Coef.	Semi-robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>ln_e_tot</b>						
ln_pibest	.8120206	.0702339	11.56	0.000	.6743646	.9496766
ln_p_e_tot						
L1.	-.0433127	.0647821	-0.67	0.504	-.1702833	.0836579
L2.	-.0798574	.0651674	-1.23	0.220	-.2075831	.0478683
dummy_lo	-.0959313	.0220042	-4.36	0.000	-.1390587	-.0528039
_cons	13.5085	.4059909	33.27	0.000	12.71277	14.30423
<b>ARMA</b>						
ar						
L1.	.7172834	.0875787	8.19	0.000	.5456324	.8889344
/sigma	.0284915	.0027562	10.34	0.000	.0230893	.0338936

Puede verse como en este modelo, los signos y valores de los coeficientes corresponden a la teoría económica, por lo que considero este modelo como el definitivo para el análisis de resultados. Adicionalmente, este modelo definitivo considera un rezago de la variable dependiente.

## 6. Análisis de los Resultados.

El modelo final obtenido considera, para explicar el comportamiento del consumo de energía eléctrica en Colombia, el PIB, el precio de la energía rezagado en uno y en dos meses y un rezago de un mes del mismo consumo de energía eléctrica.

Como el modelo está en logaritmos podemos analizar directamente los coeficientes como elasticidades:

La elasticidad del consumo de energía con respecto al PIB resulta ser del orden de 0.812 siendo la mayor, en valor absoluto, de las elasticidades encontradas. Lo que indica la alta dependencia del consumo de energía a nivel nacional del nivel de producción y lo acertado de nuestra hipótesis. Vemos entonces, como cambios en un 1% en el nivel del PIB llevaría a cambios en el 0.812% en el consumo de energía.

El coeficiente del precio de la energía da negativo, en ambos rezagos, lo que me indica que es un bien normal y al ser menor que 1 en valor absoluto me indica que es un bien inelástico a su precio. Aunque en el modelo no salieron muy significativos, los signos considerando porque son consistentes con la teoría económica. Para el primer rezago, vemos que cambios en un 1% en el precio de la energía, llevaría a disminuir su consumo en un 0.043%. Mientras, que cambios en un 1% en el precio de la energía de dos meses anteriores al del consumo, llevaría a disminuir este consumo en un 0.08%, los cuales da una elasticidad de demanda-precio total de corto plazo de -0.12.

La dummy resulta significativa, tal como se esperaba desde su construcción, al representar valores atípicos bajos.

Ahora veamos las pruebas de bondad de ajuste del modelo utilizando los criterios de comparación de modelos AIC y BIC:

```
. estat ic
```

Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	<b>90</b>	.	<b>192.1679</b>	<b>7</b>	<b>-370.3358</b>	<b>-352.8371</b>

Note: N=Obs used in calculating BIC; see **[R] BIC note**

Donde:

$$AIC = -2 \cdot \ln(\text{likelihood}) + 2 \cdot k$$

$$BIC = -2 \cdot \ln(\text{likelihood}) + \ln(N) \cdot k$$

where

$k$  = model degrees of freedom

$N$  = number of observations

AIC y BIC son valores que premian logverosimilitudes altas castigando la inclusión de variables no significativas y el aumento en el número de observaciones (sólo en el caso del BIC)

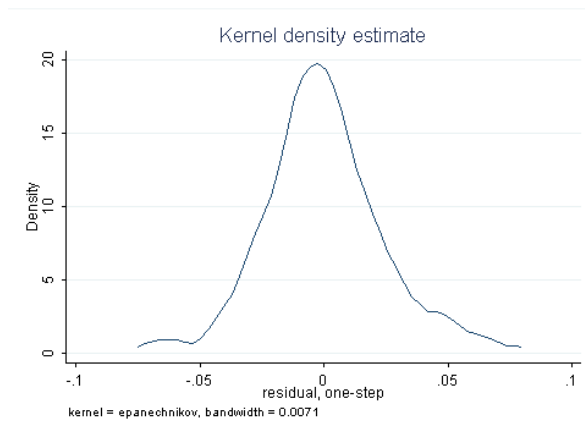
$K$  es una representación de los parámetros a estimar, o sea el número de variables del modelo, los regresores más 1. El BIC utiliza el logaritmo natural del número de observaciones que se tienen, por lo anterior, entre menor sea el AIC, mejor el modelo estimado.

Para nuestro modelo,  $k=6$  ya que fueron 6 parámetros a estimar (4 regresores, 1 componente autoregresivo y sigma).  $N=90$  observaciones, desde febrero 2003 hasta agosto de 2010, considerando que utiliza los precios rezagados uno y dos períodos. La logverosimilitud encontrada por el método numérico utilizado por Stata fue de 192.1679

Este es el modelo que nos arrojó el menor AIC de todos los modelos estimados que cumplían con los supuestos de los modelos ARIMA (No autocorrelaciones significativas sin estimar, que los residuales distribuyeran normal, heterocedasticidad,...), por lo tanto nos acogemos a este modelo.

Veamos la gráfica 12 de densidad estimada para los residuales del modelo:

Gráfica 12: Densidad estimada para los residuales del modelo definitivo.



variable	obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
r	91	-.0000906	.0237734	-.067922	.0727162

La media es aproximadamente 0, lo cual concuerda con el supuesto para residuales. El mínimo y el máximo son similares, lo que indicaría inicialmente la posible simetría de la distribución de los residuales, que se puede evidenciar aún más en la gráfica anterior.

Finalmente se confirma normalidad a través de los test Shapiro – Francia, Shapiro – Wilk y el test de simetría y kurtosis implementado en stata a través del comando sktest.

. sfrancia r

Shapiro-Francia w' test for normal data

Variable	Obs	w'	v'	z	Prob>z
r	91	0.97541	2.057	1.439	0.07510

. swilk r

Shapiro-wilk w test for normal data

variable	Obs	w	v	z	Prob>z
r	91	0.97973	1.547	0.963	0.16769

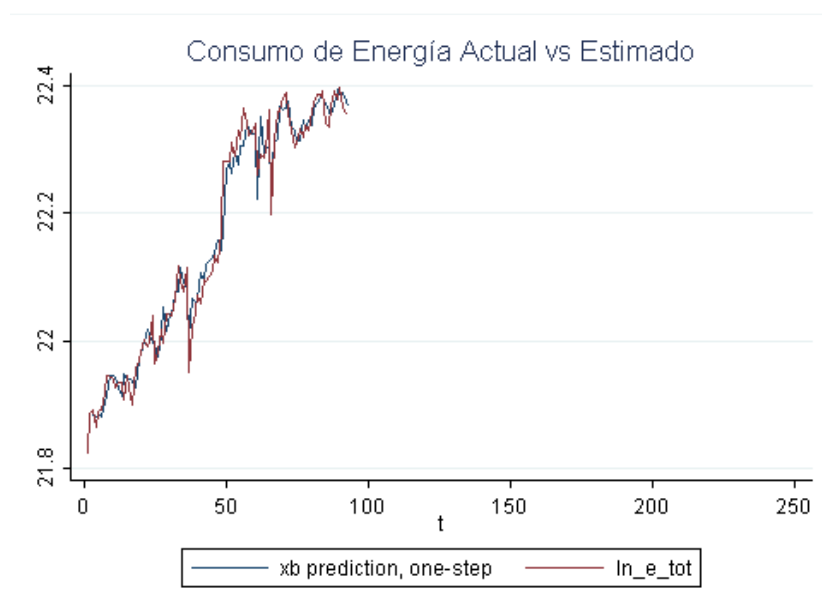
. sktest r

variable	Skewness/Kurtosis tests for Normality				joint Prob>chi2
	obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	
r	91	0.260	0.068	4.65	0.0977

Los 3 test tienen como  $H_0$  normalidad y al resultar todos los valores  $P > 0.05$  no se rechaza dicha hipótesis, concluyendo que hay normalidad, lo que cumple con el supuesto planteado al momento de hacer el modelo.

Para darnos una idea del resultado obtenido, veamos el gráfico 13:

Gráfico 13: Consumo de Energía Actual (ln\_e\_tot) vs Consumo Energía Estimado con el Modelo Definitivo (xb prediction, one step)



En general, se ha obtenido un modelo coherente con la teoría económica y que da cuenta de la gran significancia del PIB en el consumo de energía eléctrica, seguido por los precios de la energía rezagados los períodos en que los usuarios los conocen para incluirlos en la decisión del consumo. No pudo inferirse la significancia del consumo de gas y los precios del mismo con respecto al consumo total de energía eléctrica en Colombia, razón por la que se hace interesante acometer posteriores estudios con mayor información, pues aunque no se muestra en este trabajo, si se logró encontrar el

coeficiente y el signo adecuado para el consumo de gas trabajando con la serie de datos sólo a nivel residencial y a nivel industrial.

## **7. Conclusiones**

Con base en la información obtenida para el período enero de 2003 hasta agosto de 2010, se logra demostrar nuestra hipótesis respecto a que el peso que el PIB tiene en el consumo de energía eléctrica en nuestro país es mucho mayor que el efecto, que en el mismo, tienen los precios de la energía eléctrica y del gas natural, así como el consumo del gas natural; no obstante no fue posible, con la información utilizada, lograr encontrar la significancia del consumo de gas y los precios del mismo en la explicación del consumo total de energía en Colombia. De manera que una continuación interesante de este análisis pudiera ser realizar modelos independientes para cada uno de los sectores en que está dividido el consumo, o por lo menos en residencial, industrial y no residencial.

Adicionalmente, como se mencionó, en el modelo considerado pueden estar haciendo falta otras variables determinantes del consumo de energía eléctrica, tales como los ingresos de los hogares y de la industria, la tecnología cada vez más eficiente, el uso de otros sustitutos diferentes al gas natural y el clima, el cual influye en el comportamiento del consumo en los sectores residencial, no residencial e industrial, los cuales influyen seguramente en el resultado obtenido. De allí que el resultado seguramente tendrá un sesgo en este sentido, de manera que se deja planteado entonces un trabajo posterior, en el cual se tomen en cuenta más variables que pudieran involucrarse.

## **8. Referencia Bibliográfica.**

ASAFU-ADJAYE, John. "The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries". Energy Economics 22. 2000

BALLENILLA F. El crecimiento económico y el petróleo – Octubre 2004. Grupo La Illeta

CHOW G.C. and A. LIN (1971), Best Linear Unbiased Interpolation, Distribution, and Extrapolation of Time Series by Related Series. *Review of Economics and Statistics* 53, 372-375. [ChowLin1971]

CRUZ TORRES Iván. Pronósticos en el mercado de derivados utilizando redes neuronales y modelos ARIMA: una aplicación al Cete de 91 días en el MexDer. Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Nacional Autónoma de México.

DBK Hwang and B Gum. The causal relationship between energy and GNP: the case of Taiwan. *The Journal of Energy and Development*, 1992

FERNÁNDEZ VILLADANGOS, Laura. (2009) Una panorámica sobre la estructura del mercado eléctrico en España: resultados y retos, *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 34, 305-323.

FRANCO CARDONA Carlos Jaime, VELÁSQUEZ HENAO Juan David y OLAYA MORALES Yris. Caracterización de la demanda mensual de electricidad en Colombia usando un modelo de componentes no observables. Universidad Nacional de Colombia. 2008

GARCÍA Patricia A., MINVIELLE Sandra E., BERTONCELLO Rodolfo y CASTRO Hortensia. "Producción energética, minera y de combustibles" en *Geografía. Temas de la Argentina actual*. Buenos Aires: Editorial Santillana Polimodal, 1998, pp. 195-206.

GRANGER, C. W. J: "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods". *Econometrica* 37. 1969. 424-438

HUNT Sally. *Making Competition Work in Electricity*. Published by John Wiley & Sons, Inc. New York. 2002

HWANG. "The causal relationship between energy and GNP: the case of Taiwan". *The Journal of Energy and Development*, 1992

SHIU, Alice. LAM, Pun. "Electricity consumption and economic growth in China". Energy Policy 32. 2004

JAMASB Tooraj, MOTA Raffaella, NEWBERY David and POLLITT Michael. Electricity Sector Reform in Developing Countries: A Survey of Empirical Evidence on Determinants and Performance. 2004. Working Paper CMI No. 47. Department of Applied Economics, University of Cambridge, Cambridge

JUMBE, Charles. "Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi". Energy Economics. 2003

MIRA VÉLEZ Wan Yu, FRANCO Carlos Jaime y MONTOYA Santiago. Simulando la Profundización en la Competencia a nivel Minorista de Electricidad. Universidad Nacional de Colombia. 2005

SHIU A and LAM P. L. Electricity consumption and economic growth in China. Department of Business Studies, The Hong Kong Polytechnic University, Room M805, Li Ka Shing Tower, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

YOO Seung-Hoon, KWAK So-Yoon. Electricity consumption and economic growth in seven South American countries". Energy Police 38, Pág. 181 – 188. 2010.

Cointegration and Causality between Electricity Consumption and GDP: empirical evidence from Malawi. Department of Economics and Social Sciences, Agriculture University of Norway, P.B. 5033, Ås N-1432, Norway

Competencia en el Mercado de Energía Eléctrica. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Colombia – 2010.

Competition DG (2005) Energy Sector Inquiry. Issues paper, European Commission, Brussels.

Consumo de Energía y Crecimiento Económico – Análisis de la Eficiencia Energética de los principales países de la OCDE y de España. Comisión Nacional de Energía – Club Español de la Energía. 2002

Energy and economic growth (Word documentos tesis)

Informe Consolidado del Mercado, Marzo de 2010. XM Compañía de Expertos en Mercados. Colombia.

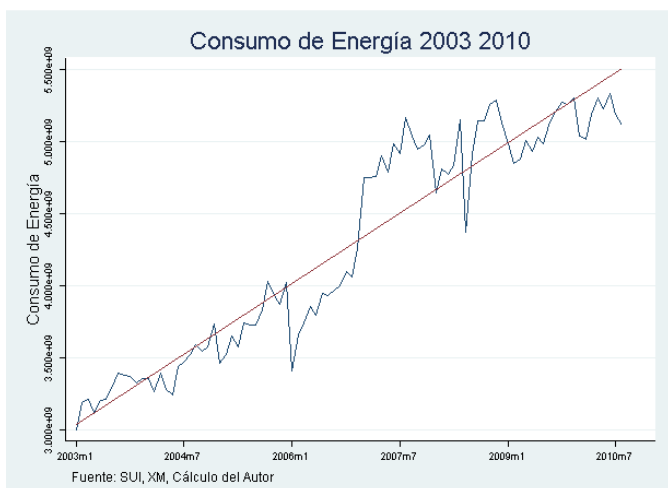
The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. Energy Economics. Volume 22, Issue 6, December 2000, Pages 615-625. Department of Economics, The University of Queensland, Brisbane, Q4072, Australia

Time series analysis of the causal relationships between U.S. energy and employment. Resources and Energy, 16, pp. 75-89. 1987b.

**ANEXO**

**Análisis de las series de datos**

**Consumo de Energía**



Esta es la serie total consumo energía, la cual incluye el consumo industrial, residencial y el no residencial, hasta agosto 2010, es evidente la presencia de una tendencia creciente a lo largo del tiempo.

Tests de estacionariedad:

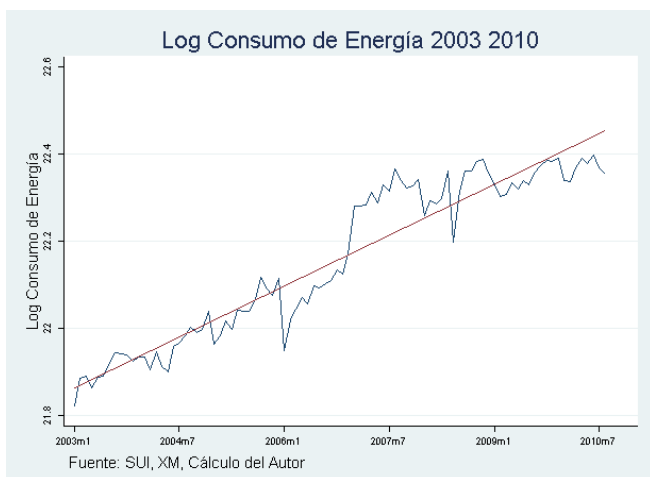
Consumo energía						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión *	Conclusión *
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0.0347	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0.0488	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0.578	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que la serie es Estacionaria en tendencia.

Para poder analizar los coeficientes estimados como elasticidades, trabajo las series en logaritmos

Ahora veamos esta serie en LN:



Igualmente es evidente la presencia de una tendencia creciente a lo largo del tiempo.

Tests de estacionariedad:

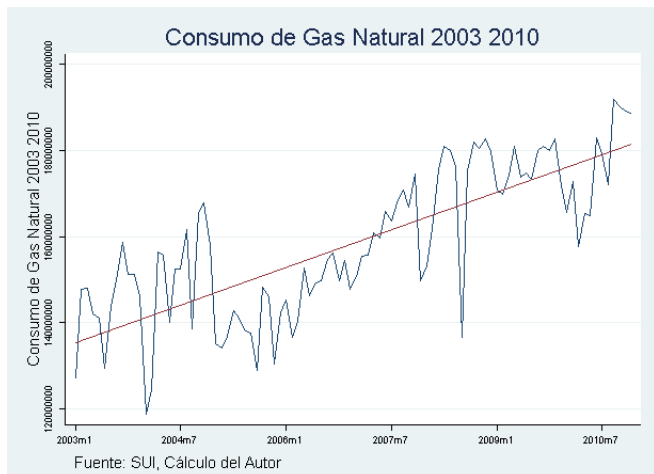
Log Consumo energía						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión *	Conclusión
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0,0397	NA	Rechazo Ho*	Estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0,0568	NA	Rechazo Ho **	Estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0,695	Rechazo Ho*	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

\*\*Al 6% de significancia estadística

Se concluye que la serie es Estacionaria en tendencia.

## Consumo de Gas



Esta es la serie del consumo de gas natural en Colombia, desde 2003 hasta agosto de 2010, la cual incluye el consumo a nivel industrial, residencial y no residencial. La serie tiene tendencia, gráficamente pareciese haber estacionariedad alrededor de la media sin la tendencia.

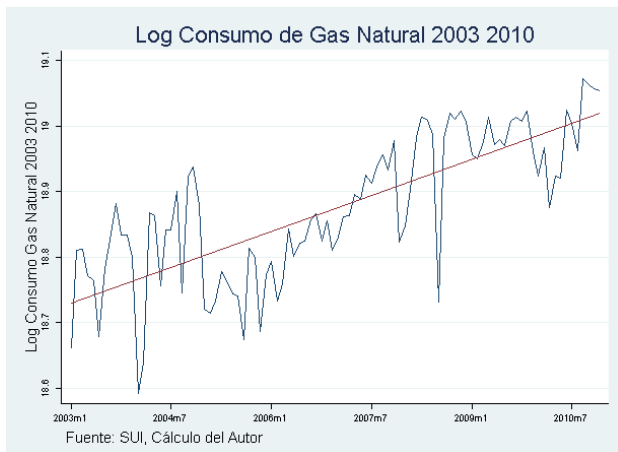
Tests de estacionariedad:

Consumo gas						
<i>Test</i>	<i>Hipótesis nula</i>	<i>Tendencia</i>	<i>Valor-p</i>	<i>t-estadístico</i>	<i>Decisión *</i>	<i>Conclusión</i>
<i>Dickey-Fuller</i>	No estacionariedad	sí	0,0000	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
<i>Philips-Perrón</i>	No estacionariedad	sí	0,0000	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
<i>Kpss</i>	Estacionariedad	sí	NA	0,327	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que la serie es Estacionaria en tendencia.

Ahora veamos esta serie en LN:



La serie igualmente presenta tendencia, gráficamente pareciese haber estacionariedad alrededor de la media sin la tendencia.

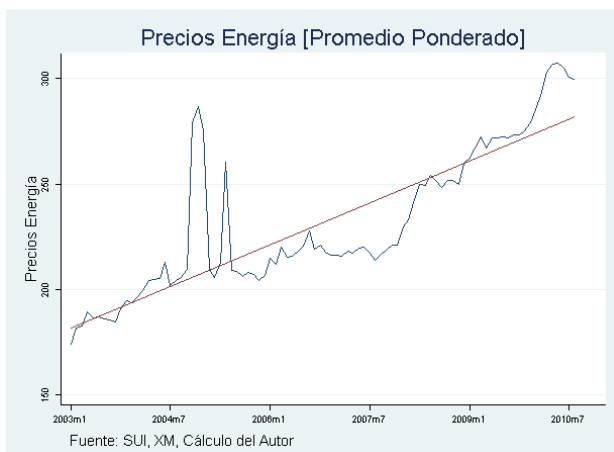
Tests de estacionariedad:

Log Consumo gas						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión *	Conclusión
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0,0000	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0,0000	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0,285	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que la serie es Estacionaria en tendencia.

### Precios energía



Esta es la serie de los precios de energía en Colombia, desde 2003 hasta agosto de 2010, la cual equivale al promedio ponderado mensual de la energía a nivel industrial, residencial y no residencial. La serie tiene tendencia creciente con un pico en el año 2005 que podría causar una no estacionariedad de la serie.

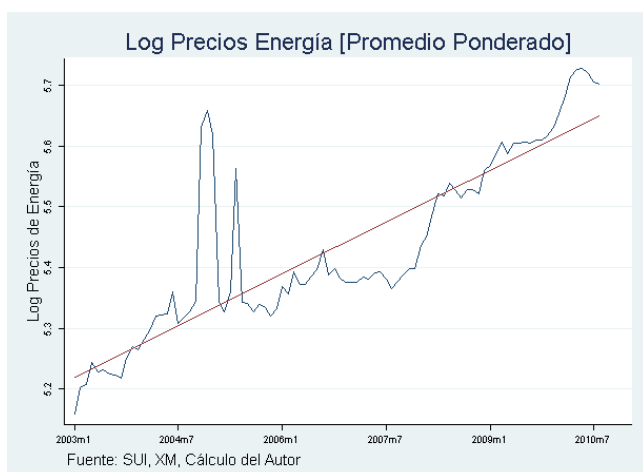
Tests de estacionariedad:

Precio energía						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión*	Conclusión*
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0.0481	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0.0651	NA	No Rechazo Ho	No estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0.804	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que es No Estacionaria en tendencia.

Veamos esta serie en LN:



Igualmente esta serie presenta tendencia creciente con un pico en el año 2005 que podría causar una no estacionariedad.

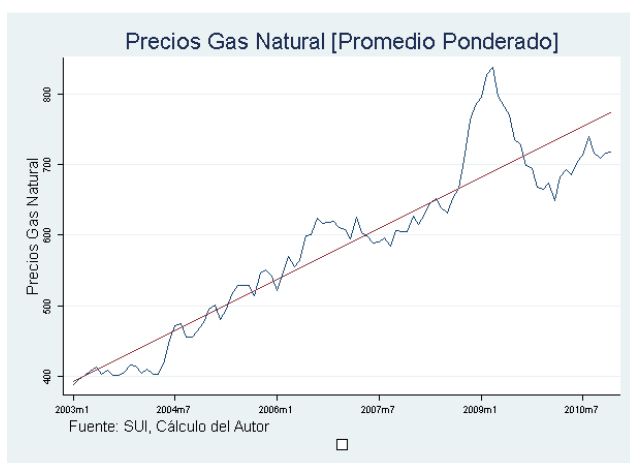
Tests de estacionariedad:

Log Precio energía						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión*	Conclusión
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0,0242	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0,0328	NA	Rechazo Ho	Estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0,666	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que es Estacionaria en tendencia.

### Precio gas



Esta es la serie de los precios de gas natural en Colombia, desde 2003 hasta agosto de 2010, la cual equivale al promedio ponderado mensual a nivel industrial, residencial y no residencial. La serie tiene tendencia creciente con un pico entre finales del año 2008 y principios del año 2009 que podría causar una no estacionariedad de la serie.

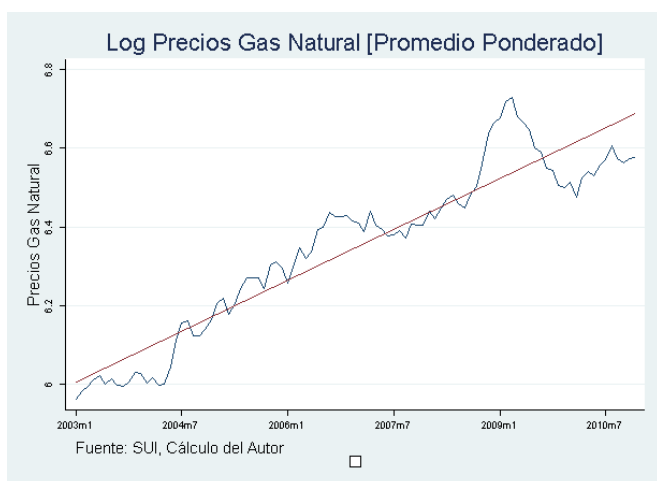
Tests de estacionariedad:

Precio gas						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión*	Conclusión*
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0.7520	NA	No Rechazo Ho	No estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0.5120	NA	No Rechazo Ho	No estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	0.568	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que la serie es No Estacionaria en tendencia.

Ahora veamos esta serie en LN:



Igualmente, esta serie presenta tendencia creciente con un pico entre finales del año 2008 y principios del año 2009 que podría causar una no estacionariedad de la serie.

Tests de estacionariedad:

Log Precio gas						
Test	Hipótesis nula	Tendencia	Valor-p	t-estadístico	Decisión *	Conclusión
Dickey-Fuller	No estacionariedad	sí	0,8018	NA	No Rechazo Ho	No estacionaria
Philips-Perrón	No estacionariedad	sí	0,6690	NA	No Rechazo Ho	No estacionaria
Kpss	Estacionariedad	sí	NA	1,000	Rechazo Ho	No estacionaria

\*Al 5% de significancia estadística- t estadístico de comparación = 0.146

Se concluye que la serie es No Estacionaria en tendencia.

### CONCLUSIÓN ANÁLISIS DE SERIES.

Por las características mismas de las series a utilizar, era de esperarse que se presentara una tendencia creciente a lo largo del tiempo, y era de esperarse la no estacionariedad en nivel de las mismas, sin embargo, se encontró una estacionariedad en tendencia de la

serie de importancia (logaritmo del consumo de energía), por lo que al momento de la estimación será fundamental la inclusión de la variable tiempo, para así lograr extraer ese componente tendencial de la serie, y poder asegurar una estimación sobre datos estacionarios.

La tendencia creciente de la población y el crecimiento de la actividad económica en el país ocasiona la tendencia con pendiente positiva en las series de consumo.

Es sabido también que las economías son inflacionarias, y los precios tienden a crecer a lo largo del tiempo, razón por la que las series de precios al igual que las de consumo, también presentan una tendencia creciente.

Con base en los resultados anteriores, las series de datos las trabajaremos en Logaritmos porque la variable dependiente da estacionaria en tendencia tanto normal como en logaritmos, lo que nos permite analizar los coeficientes directamente como elasticidades.

Después de los anteriores análisis, veamos entonces un cuadro con el resumen del orden de integración de las series:

<b>ANÁLISIS DEL GRADO DE INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES</b>					
Opción	CE	PIB	PE	CG	PG
<b>Niveles</b>					
Sin Tendencia	NE	NE	NE	NE	NE
Con Tendencia	E	NE	NE	E	NE
<b>Logaritmo</b>					
Sin Tendencia	NE	NE	NE	NE	NE
Con Tendencia	E	NE	E	E	NE

NE: No Estacionaria

E: Estacionaria