

# Modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica utilizando los productos internos brutos sectoriales: Caso de Colombia

## Forecast electricity demand model using predicted values of sectorial gross domestic product: Case of Colombia

John William GRIMALDO Guerrero [1](#); Manuel Andres MENDOZA Becerra [2](#); Wendy Paola REYES Calle [3](#)

Recibido: 11/11/16 • Aprobado: 11/12/2016

### Contenido

- [1. Introducción](#)
  - [2. Metodología](#)
  - [3. Resultados](#)
  - [4. Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

#### RESUMEN:

Los pronósticos de demanda de energía eléctrica es un tema importante para los gobiernos, los inversionistas y las empresas que pertenecen al sector eléctrico, esto permite formular los planes de expansión a largo plazo que permitan un crecimiento sostenible y evitar problemas en el suministro del servicio. En los estudios realizados por los países proponen modelos asociados a la economía principalmente el PIB y la población; en el presente estudio, se propone hacer una extensión a partir de los PIB generados por los diferentes sectores de la economía Colombiana.

**Palabras-chave:** Método backward, forward y stepwise, Pronósticos de Demanda, Energía Eléctrica, Población, Indicadores Económicos.

#### ABSTRACT:

Forecasts of demand for electrical energy is an important issue for governments, investors and companies belonging to the electricity sector, this allows formulating plans long-term expansion to enable sustainable growth and avoid in the supply service problems. In studies by the countries propose models using economy value, mainly GDP and population. In this study, it is proposed that an extension from the GDP generated by the different sectors of the Colombian economy.

**Keywords:** Backward, Forward and Stepwise Method, Demand Forecasting, Electric Energy, Population, Economic Indicators.

## 1. Introducción

La evolución del mercado eléctrico ha presentado grandes cambios y un fuerte crecimiento

mundial, principalmente en la demanda de energía eléctrica, la cual ha ido en aumento y se presenta un cambio en el paradigma en las tecnologías de generación; cambiando gradualmente la matriz energética de tecnología convencional a tecnología de energía renovable, generando mayor conciencia en los impactos ambientales que estas generan. En (Horst & Francisco, 2013) se muestra el caso de Brasil y la búsqueda de tener una matriz diversificada, así como tendencias tecnológicas; en (Comisión Europea, 2013) presentan los objetivos y metas que tienen los países integrantes de la Unión Europea en buscar una estabilidad y diversidad en sus parques generadores de energía eléctrica; buscando suplir la demanda requerida y no interferir en los procesos industriales, los países proponen planes de expansión del parque generador y transmisión, ligados a los pronósticos de crecimiento de la demanda de energía anual. El cumplimiento de los proyectos de generación y transmisión afectan directamente a la economía del país, en el trabajo presentado (Hadi Sadeghia, 2017) muestra como una política muy bien guiada puede realizar y fortalecer el parque generador y conseguir la estabilidad energética.

La evolución del mercado colombiano se ha presentado por una combinación de factores que permitieron mejorar la confiabilidad del sistema, entre los que se incluye principalmente el clima que presenta de solamente temporadas secas y lluviosas (**Torres-Bejaranoa, Cobaa, Cuevasb, León, & Rodeloa, 2016**), un agravante presentado por esta condición climática fue el fenómeno del niño presentado en el año de 1.992, la cual se estimó que tuvo un costo directo de 3 billones de dólares (Pinzón, 2008). A continuación se presenta una línea de tiempo de los sucesos más importantes tomado de (Caracol Radio, 2016):

1.992: Se anuncia el racionamiento por el fenómeno del niño.

1.993: Termina el racionamiento. Se invierte en la construcción de termoeléctricas.

1.994: Se expide la ley 143 de 1994 y se crea la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG).

1.995: Se empieza a regular el mercado nacional y se hace un mayor control en el uso del recurso hídrico.

1.996: Inicia el Cargo por Capacidad que permiten la expansión del sector eléctrico.

1.997: Con cambios presentados se logró que el fenómeno del niño de 1997 no presentara problemas

2.000: Se fortalece en el proceso de dar cobertura de las zonas rurales no interconectadas.

2.003: Interconexión con Ecuador.

2.006: Inicia el Cargo por Confiabilidad y se establece el Precio de Escasez.

2.008: Se realiza la primera subasta de energía firme.

2.009: Colombia posee un sistema con capacidad hídrica del 67,7%, no presenta problemas en el fenómeno del niño.

2.012: La UPME recomienda en el corto y mediano plazo la ejecución de varios proyectos de inversión.

2.013: Campo Rubiales entra con una demanda mensual de aproximada 92GWh/mes.

2.014: Se implementa la ley 1715 de 2014, con el fin de promover proyectos de energías renovables.

2.015: Comienza un nuevo fenómeno del niño. Se incrementan tarifas del servicio y se aumenta la alerta por la falta de lluvias.

Para los años 2014 a 2016 se programaron varios proyectos muchos de ellos de generación hídrica y térmica, pero varios de estos presentaron atrasos; en la Tabla 1 se pueden apreciar los proyectos, la capacidad, la fecha de entrada a operación y el retraso presentado.

<b>Proyecto - Empresa Encargada</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Entrada en Operación</b>	<b>Comentario</b>
El Quimbo - Emgesa	400 MW	Ago-2014 (U1) Sep-2015 (U2)	En operación con una Capacidad Efectiva Neta igual a 396 MW a partir del 16 de noviembre de 2015.
Cucuana - EPSA	60 MW	Ago-2014	En operación desde 10 de noviembre de 2015
Gecelca 3.2 - Gecelca	250 MW	Dic-2015	Un atraso del 28.82%, equivalente a 346 días con relación a la fecha de inicio.
Termotasajero II - Termotasajero	160 MW	Dic-2015	En operación comercial desde el 30 de noviembre de 2015
Carlos Lleras Restrepo - Hidroeléctrica Alto Porce	78 MW	Dic-2015	En operación comercial desde el 22 de noviembre de 2015.
Termonorte - Termonorte	88 MW	Dic-2017	El avance es del 0.905% frente al 2.54% programado y registrado ante la CREG
Hidroituango - EPM	1.200 MW	Nov-2018	El avance real es del 51.4% respecto al 72.8 % programado y reportado ante la CREG.

En la actualidad se tienen proyectos de energía renovable, pero son proyectos de capacidad pequeña la gran mayoría, en capacidades mayores se tienen dos proyectos, *Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruiz* de 50 MW y *Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro* de 138 MW, ambos usaran energía geotérmica (ISAGEN, 2014), el primero se encuentra en trámite de la licencia ambiental y el segundo en estudios de prefactibilidad.

En el año 2016, Colombia presenta una nueva crisis energética, debido a la fuerte temporada de sequía que viene del año 2015 (El Espectador, 2016), una complicada situación financiera por la que atraviesan esas termoeléctricas, principalmente las que trabajan con combustibles líquidos como el diésel como lo expone el director ejecutivo de Asociación Nacional de Empresas Generadoras -ANDEG- Alejandro Castañeda (Revista Semana, 2015) y una serie de fallas presentadas en unas plantas generadoras (Revista Dinero, 2016); logró afectar la confiabilidad y poner en riesgo el suministro de energía. A continuación se presenta la cadena de sucesos (Caracol Radio, 2016) durante el año 2016, que puso en jaque el sistema eléctrico colombiano:

15-Feb-2016: Se presentó un incendio en la represa de Guatapé, que la dejó fuera de operación.

22-Feb-2016: El nivel de los embalses bajo al 57%.

25-Feb-2016: El gobierno Nacional anunció la importación de energía de Ecuador para mitigar la salida de la hidroeléctrica de Guatapé. (RCN Radio, 2016)

27-Feb-2016: El nivel de los embalses bajo al 30,49%.

29-Feb-2016: Sale de operaciones Termoflores, por daño en la unidad IV. (El Herald, 2016)

07-Mar-2016: El ministro de Minas y Energía Tomas González renuncia a su cargo.

08-Mar-2016: XM recomienda al gobierno un racionamiento de seis semanas.

09-Mar-2016: Empieza una agresiva campaña. Con el fin de reducir la demanda de energía en un 10% (El País, 2016).

Como medida el gobierno estableció un incentivo o un premio para los usuarios ahorradores, y un castigo a los derrochadores; con el fin de autorregular el consumo por medio mecanismo de incentivos para los que deseen ahorrar. Acompañado de campañas de concientización en el ahorro. El año 2015 no fue un año malo para la economía colombiana, pero dejó muchas alertas, debido a los problemas como el precio del petróleo, la inflación y el precio del dólar. Según datos entregados por el DANE el PIB creció 2,3 % en el primer semestre y 2% en el segundo trimestre; se tiene estimado que cierre a 2,5 %.

En el estudio realizado en (Barreto Nieto & Campo Robledo, 2011), citan el trabajo realizado por (Kraft & Kraft, 1978) sobre la relación que hay entre el consumo de energía eléctrica y PIB es del tipo directamente proporcional, es decir *"El suministro de energía debe crecer a la misma tasa que la demanda"* y que además la *"relación constante e invariable entre el consumo energético bruto y el producto interno bruto (PIB)"*.

En (Barreto Nieto & Campo Robledo, 2011) se estudió la relación a entre el consumo de energía y el PIB de países de América Latina para series anuales, probando con resultados estadísticos la existencia de la relación que existe entre ellas.

Al tener los problemas presentados a lo largo del 2015 y 2016, se presenta la oportunidad de estudiar el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) y de la Demanda de Energía Eléctrica (DEE), en el Gráfico 1 se puede apreciar la Demanda de Energía Eléctrica en GWh, el crecimiento porcentual de la DEE y el crecimiento porcentual del PIB anual del 2001 hasta el 2015, datos tomados de la página oficial de XM y el Banco de la República:

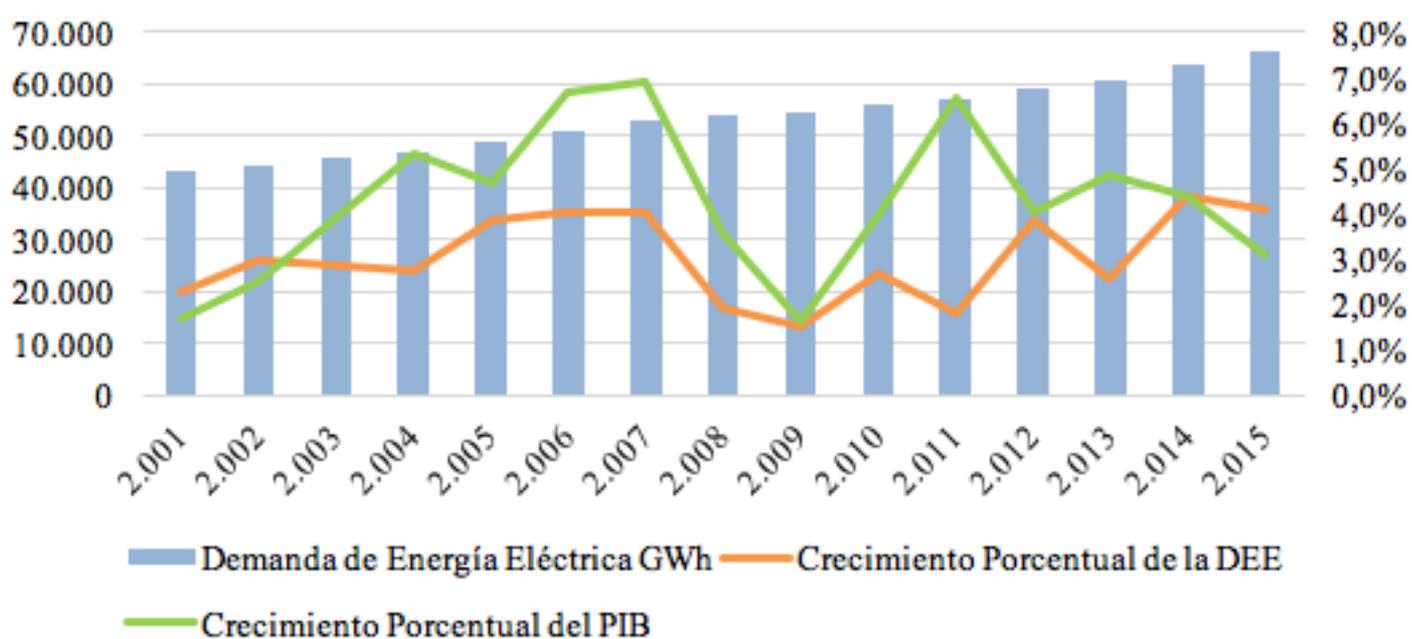


Gráfico 1. Demanda Anual de Energía Eléctrica en Colombia

Como se puede apreciar la DEE y el PIB se mantiene en constante aumento, pero no se tiene una relación invariable, esto debido a diferentes problemas o éxitos que se han logrado en la economía del país; al crecer la demanda se convierte en un punto muy importante tener planes de expansión del parque generador acorde a las necesidades futuras, crear planes de

seguimiento y control en los proyectos y evitar desperdicio de los recursos energéticos; y hacer un mejor uso de ellos, para evitar desabastecimiento; un factor clave es tener una herramienta que logre una buena precisión en sus predicciones.

En búsqueda de lograr mejores predicciones y ajustes, se busca determinar variables que influyan dentro de la demanda de energía eléctrica de la nación. Para el estudio de **(Günay, 2016)** utiliza variables como población, PIB per cápita, inflación, y temperatura promedio de verano; en el trabajo de **(Askarzadeh, 2014)** se presenta una revisión de ocho investigaciones sobre modelos de predicción de energía (energía, petróleo y electricidad), las variables presentadas son PIB, población, usuarios/consumidores, precio promedio, importaciones y exportaciones, en el trabajo de **(Souza, Souza, & Menezes, 2013)** se realiza el análisis de consumo de electricidad en base al número de consumidores. Y las metodologías usadas se tienen las regresiones lineales simples y múltiples, los modelos ARIMA y redes neuronales.

En este trabajo se presenta una propuesta de un modelo que utilizara variables econométricas de PIB sectorial, la población y el PIB total; estos PIB sectoriales han sido realizados el banco de la Republica desde el año 2.000 y las ha clasificado en los siguientes sectores de la economía:

Tabla 2. Clasificación de los PIB Sectoriales (Banco de la República, 2016).

<b>Sector</b>	<b>Actividades que Involucra</b>
<b>Agricultura</b>	Comprende las actividades de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.
<b>Minería</b>	Explotación de minas, yacimientos y canteras.
<b>Manufactura</b>	Industrias manufactureras.
<b>Servicios Públicos</b>	Suministro de electricidad, gas y agua.
<b>Construcción</b>	Construcción.
<b>Comercio</b>	Comercio, reparación, restaurantes y hoteles.
<b>Transporte</b>	Transporte, almacenamiento y comunicaciones.
<b>Financieros</b>	Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas.
<b>Sociales</b>	Actividades de servicios sociales, comunales y personales.

## 2. Metodología

Inicialmente se realiza una prueba de normalidad para la variable demanda de energía eléctrica, con el fin de verificar "si se cumple el supuesto de normalidad" por medio del test de Shapiro Wilks **(Shaphiro & Wilk, 1965)**, el cual posee como hipótesis nula la normalidad de los datos y como alternativa la no normalidad de estos.

Se considerarán tres modelos iniciales para estimar la demanda energética en el país, el primero es el modelo tradicional que utiliza como variable regresora el PIB, el segundo es un

modelo también usual, que considera como variables regresoras el PIB y la población (**Bianco, Manca, & Nardini, 2009**). Por último, se propone un modelo que contenga como variables regresoras los distintos sectores de la economía descritos en la Tabla 4, las cuales serán incluidas en el modelo haciendo uso de los tres métodos conocidos como backward, forward y stepwise. La estimación de estos modelos de regresión se realiza a través del software R (**R Foundation for Statistical Computing, 2016**).

La utilización del coeficiente de Akaike (AIC) como medida de bondad de ajuste, es considerado como uno de los criterios más importantes para seleccionar modelos autoregresivos. En la investigación de (**SPENASSATO, TRIERWEILLER, BORNIA, & FRAZZON, 2015**) nos presenta la utilidad de este criterio y la ventaja que tiene frente a otros criterios, su principal beneficio radica en que este coeficiente impone una penalidad o aumenta su valor, es decir castiga mucho más por cada variable regresora que se esté utilizando para el modelo, es un coeficiente que permite tener calidad y complejidad.

### 3. Resultados

Se realizó la prueba de normalidad la cual presenta los siguientes resultados:

Tabla 3. Prueba de Shapiro-Wilks

<b>Shapiro-Wilks (modificado)</b>					
<b>Variable</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>p (UnilateralD)</b>
demanda	16	52943.75	7360.99	0.94	0.5081

Esta prueba nos presenta un p-valor de 0,5081, por tanto, se acepta la hipótesis nula de normalidad de los datos y nos permite proceder a realizar las regresiones lineales.

Tabla 4. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov

<b>Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov)</b>						
<b>Variable</b>	<b>Ajuste</b>	<b>media</b>	<b>varianza</b>	<b>n</b>	<b>Estadístico D</b>	<b>p-valor</b>
demanda	Normal(52943.8,54184321)	52943.75	54184128.20	16	0.10	0.9962

Se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov para comprobar nuevamente si la variable es normal, de lo cual los resultados presentan que tiene media 52943, varianza 54184321 y con p-valor de 0,9962 se acepta la hipótesis nula que esta variable si es normal. Luego de haber comprobado la normalidad de la demanda se procede realizar los modelos de regresión, para lo cual tenemos:

Para el modelo de regresión lineal tradicional (utilizando solamente el PIB)

Tabla 5. Resultados del Modelo PIB

<b>Análisis de regresión lineal</b>						
<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>ECMP</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
demanda	16	0.99	0.99	601094.02	256.83	259.15

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
Const	18032.62	823.03	16267.40	19797.84	21.91	<0.0001
PIB Total	0.09	2.1E-03	0.08	0.09	43.29	<0.0001

Se observa un modelo de regresión donde la variable dependiente es la demanda y la regresora es el PIB TOTAL. Se observa un AIC de 256,83 y un BIC de 259,15. La constante  $\beta_0$  con un valor estimado de 18032,62 el cual obtuvo un estadístico T de 21.91 para un p-valor de <0,0001 lo garantiza la relevancia de la constante para el modelo. La variable PIB TOTAL obtiene un  $\beta_1$  de 0,09 con un estadístico de 43,29 para un p-valor de <0,0001 lo cual garantiza la relevancia de la variable en el modelo. El modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Demanda = 18032,62 + 0,09 * PIB_{Total} \quad (1)$$

Para el modelo utilizando el PIB y la población obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 6. Resultados del Modelo PIB y Población

Análisis de regresión lineal						
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
demanda	16	0.99	0.99	513556.95	253.35	256.44
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
const	-24626.61	18518.00	-64632.31	15379.08	-1.33	0.2064
PIB Total	0.05	0.02	0.01	0.09	2.82	0.0145
Población	1.3E-03	5.7E-04	8.3E-05	2.6E-03	2.31	0.0383

Para el modelo que incluye las variables PIB TOTAL y Población se tiene un AIC de 253 y un BIC 256,44, el cual presenta una reducción con respecto al modelo anterior este presentando un mejor ajuste. El p-valor obtenido para la constante nos indica que este debe ser un modelo en el que se prescindir de ella, porque está muy por encima del 0,05 que es el valor máximo aceptado para esta investigación (0,2064). El PIB total obtuvo una estimación de 0,05, con un p-valor de 0,0145, nos indica que esta variable es necesaria e imprescindible para nuestro modelo (p-valor es menor que el 0,05). La variable población con un valor de 0,013 y un p-valor asociado de 0,0383 indica que debe ser incluida en el modelo. El modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Demanda = 0,05 * PIB_{Total} + 0,0013 * Población \quad (2)$$

Para los modelos estimados por medio del método de eliminación backward, forward y stepwise obtenemos los siguientes resultados:

### 3.1. Modelo Backward

Tabla 7. Resultados del Modelo Backward

<b>Análisis de regresión lineal</b>								
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC		
demanda	16	1.00	1.00	77529.93	219.64	224.28		
Eliminación backward. Máximo p-valor para retener: 0.05								
Número original de regresoras: 9, regresoras retenidas en el modelo 4								
<b>Coefficientes de regresión y estadísticos asociados</b>								
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	11433.58	1801.51	7468.49	15398.68	6.35	0.0001		
Minería	-0.23	0.03	-0.30	-0.17	-7.83	<0.0001	60.26	17.78
Serv. Públicos	1.60	0.34	0.84	2.36	4.65	0.0007	23.89	218.95
Comercio	-0.33	0.12	-0.59	-0.07	-2.79	0.0175	11.23	610.58
Financieros	0.52	0.06	0.38	0.65	8.45	<0.0001	69.56	451.57
Error cuadrático medio: 36841.795437								

De las 9 variables disponibles la eliminación backward estimó que el modelo debe ser conformado con las variables Minería, Serv. Públicos, Comercio, Financiero debido a que presentan un p-valor menor al 0,05 para ser consideradas relevantes. Con el modelo propuesto se observa una disminución significativa del AIC con un valor de 219,64 y un BIC 224,28 con respecto a los modelos tradicionales, siendo este el que tuvo menor índice de error. El modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Demanda = 11433,58 - 0,23 * PIB_{Min} + 1,60 * PIB_{ServP} - 0,33 * PIB_{Com} + 0,52 * PIB_{Fin} \quad (2)$$

### 3.2. Modelo Forward

Tabla 8. Resultados del Modelo Forward

<b>Análisis de regresión lineal</b>								
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC		
demanda	16	1.00	1.00	215499.61	236.78	239.87		

Selección Forward. Máximo p-valor para entrar: 0.05								
Número original de regresoras: 9, regresoras retenidas en el modelo 2								
<b>Coefficientes de regresión y estadísticos asociados</b>								
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	15322.20	2948.42	8952.52	21691.88	5.20	0.0002		
Construcción	0.41	0.09	0.22	0.60	4.72	0.0004	22.73	65.83
Serv. Públicos	1.87	0.34	1.15	2.60	5.57	0.0001	30.92	65.83
Error cuadrático medio: 116815.659906								

De las 9 variables disponibles la eliminación forward estimó que el modelo debe ser formado con la constante y las variables Construcción y Servicios Públicos debido a que presentan un p-valor menor al 0,05 para ser consideradas relevantes. Con el modelo propuesto se observa una disminución significativa del AIC con un valor de 236,78 y un BIC 239,87 con respecto a los modelos tradicionales, pero algo mayor que el modelo anteriormente propuesto. El modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Demanda = 15322,20 - 0,41 * PIB_{Const} + 1,87 * PIB_{ServP} \quad (3)$$

### 3.3. Modelo Stepwise

Tabla 9. Resultados del Modelo Stepwise

<b>Análisis de regresión lineal</b>								
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC		
demanda	16	1.00	1.00	215499.61	236.78	239.87		
Selección Forward. Máximo p-valor para entrar: 0.05								
Número original de regresoras: 9, regresoras retenidas en el modelo 2								
<b>Coefficientes de regresión y estadísticos asociados</b>								
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	15322.20	2948.42	8952.52	21691.88	5.20	0.0002		
Construcción	0.41	0.09	0.22	0.60	4.72	0.0004	22.73	65.83
Serv. Públicos	1.87	0.34	1.15	2.60	5.57	0.0001	30.92	65.83

De las 9 variables disponibles la eliminación stepwise estimó que el modelo debe ser formado con la constante y las variables Construcción y Servicios Públicos debido a que presentan un p-valor menor al 0,05 para ser consideradas relevantes. Con el modelo propuesto se observa una disminución significativa del AIC con un valor de 236,78 y un BIC 239,87 con respecto a los modelos tradicionales, pero algo mayor que el modelo backward e igual al modelo forward. El modelo queda expresado de la siguiente manera:

$$Demanda = 15322,20 - 0,41 * PIB_{Const} + 1,87 * PIB_{ServP} \quad (4)$$

Al tener que todos los modelos el valor de los  $R^2$  son similares, se escoge como el método con mejor ajuste aquel que presente un menor valor de AIC y un menor valor de BIC.

En el modelo forward y stepwise la única variables significativa es la construcción y servicios públicos con un  $R^2$  de 1, AIC de 256 y un BIC de 239,87; mientras que con el modelo backward se obtiene que las variables significativas para el modelo son minería, servicios públicos, comercio y financieros, este modelo presenta un con  $R^2$  de 1, una considerable reducción en su AIC con un valor de 219,64 a pesar de tener 4 variables en su modelo y un BIC de 224,28.

## 4. Conclusiones

La investigación planteó el desarrollo de nuevos modelos a partir de PIB de los grandes sectores de la economía, estas variables econométricas están siendo elaboradas por el Banco de la Republica de Colombia, estas permiten generar una nueva visión a la generación de pronósticos de demanda de energía eléctrica, por los resultados obtenidos nos presentan menor error y un mayor ajuste frente a los modelos tradicionales.

En los resultados obtenidos se pueden resaltar los siguientes aspectos:

1. Se tienen nuevas variables que acompañadas con esta metodología permitirán tener mejores modelos y más ajustados a la realidad, frente al modelo convencional que como se puede apreciar en la gráfica 1 se ha perdido el ajuste, pero por los resultados realizados en nuestra investigación se pueden considerar como válidos.
2. El mejor modelo que ajusta la demanda de energía eléctrica es el modelo obtenido por la eliminación backward, aunque los errores cuadráticos fueron similares frente al modelo forward y stepwise, el valor del criterio de Akaike fue inferior a pesar de contar con cuatro variables regresoras.

En las próximas investigaciones se realizaran pruebas de pronósticos futuros y realizar el análisis comparativo de los modelos tradiciones y los propuestos. El Banco de la República está generando los valores de PIB sectorial de lapso de tiempo trimestral y anual, con estos resultados se puede empezar a disminuir el espectro de tiempo, para mejorar la calidad de los pronósticos.

## Referencias

- Askarzadeh, A. (2014). Comparison of particle swarm optimization and other metaheuristics on electricity demand estimation: A case study of Iran. *Energy* 72, 484-491.
- Banco de la República. (2016). Retrieved Septiembre 23, 2016, from <http://www.banrep.gov.co/>
- Barreto Nieto, C. A., & Campo Robledo, J. (2011, Noviembre). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de Economía*.
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy* 34, 1413-1421.

Caracol Radio. (2016, Marzo 15). *La pasión del sector eléctrico y el riesgo de un racionamiento*. Retrieved from [http://caracol.com.co/radio/2016/03/15/media/1458055357\\_963111.html](http://caracol.com.co/radio/2016/03/15/media/1458055357_963111.html)

Comisión Europea. (2013). *Política energética y sus desafíos*. Europa.

El Espectador. (2016, Febrero 17). Sector eléctrico se enfrenta al momento más difícil de la sequía.

El Herald. (2016, Marzo 01). "Daño en Termoflores aumenta riesgo de apagón": Andeg.

El País. (2016, Marzo). "Hay que premiar el ahorro de energía, pero fijar castigos": presidente de Celsia.

Günay, M. E. (2016). Forecasting annual gross electricity demand by artificial neural networks using predicted values of socio-economic indicators and climatic conditions: Case of Turkey. *Energy Policy*, 92-101.

Hadi Sadeghia, M. R. (2017, January ). A comprehensive sequential review study through the generation expansion planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1369-1394.

Horst, D. J., & Francisco, W. D. (2013, Febrero 16). Technological forecasting: renewable energies generation in Brazil. *Revista Espacios*.

ISAGEN. (2014, Mayo). *Geotermia en Colombia - Presentación*.

Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the Relationship Between Energy and GNP. *Journal of Energy and Development*, 401-403.

Pinzón, J. V. (2008). THE COLOMBIAN ELECTRICITY MARKET AND ITS IMPACT IN HYDROTHERMAL EXPANSION. *IEEE*.

R Foundation for Statistical Computing. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.

RCN Radio. (2016, Febrero 25). Colombia importará energía de Ecuador por daño en Guatapé e intensa sequía.

Revista Dinero. (2016, Marzo 03). Apagón inminente: Colombia al borde del corto circuito.

Revista Semana. (2015, Agosto 23). Alta tensión en el sector eléctrico.

Shaphiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika* 52(3), 591-611.

Souza, F. M., Souza, A. M., & Menezes, R. (2013). Análise Empírica do Número de Consumidores e do Consumo de Energia Elétrica no Rio Grande do Sul por meio de Modelos Matemáticos. *Revista Espacios*. Vol. 34, 2.

SPENASSATO, D., TRIERWEILLER, A. C., BORNIA, A. C., & FRAZZON, L. S. (2015). Dow Jones Sustainability Index: Use of forecasting models to assist decision making. *Revista Espacios* Vol. 36 (Nº 11) , 21.

Torres-Bejaranoa, F., Cobaa, J. P., Cuevasb, C. R., León, H. R., & Rodeloa, R. C. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 163-172.

UPME. (2016). *INFORME DE AVANCE PROYECTOS DE GENERACIÓN – ABRIL 2016*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía.

XM. (n.d.). Retrieved Septiembre 23, 2016, from <http://www.xm.com.co/Pages/Home.aspx>

- 
1. MSc en Ingeniería Eléctrica, Máster en Administración y Dirección Internacional de Empresas, Ingeniero de Petróleos, Departamento de Energía, Universidad de la Costa, Email: [jgrimald1@cuc.edu.co](mailto:jgrimald1@cuc.edu.co), Barranquilla, Colombia
  2. MSc en Estadística Aplicada, Matemático, Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de la Costa, Email: [mmendoza48@cuc.edu.co](mailto:mmendoza48@cuc.edu.co) , Barranquilla, Colombia
  3. Estudiante del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Costa. Email: [wreyes3@cuc.edu.co](mailto:wreyes3@cuc.edu.co), Barranquilla, Colombia
-

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]