



Variables ambientales que afectan el comportamiento de la demanda y el precio de la energía eléctrica en Colombia

Environmental variables affecting the behavior of demand and the price of electric power in Colombia

Belisario Peña R ., David Cadena G ., Hever Daniel Ravelo Paez., Diego José Maldonado Barajas., Leonel David Medina Ovalles

Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Programa Ingeniería Industrial. Grupo de investigación INGAPO. Universidad de Pamplona .

Resumen

El presente documento refleja los pasos que fueron necesarios para la construcción del estudio sobre el impacto de las variables que afectan el comportamiento de la demanda y el precio de la energía eléctrica en Colombia, como el Fenómeno climático El Niño, demanda y oferta energética, y modelamiento del consumo energético por la población. Como metodología se realizó un análisis cuantitativo, utilizando técnicas estadística inferencial con reducción de las variables, se hizo procesamiento de los datos mediante las pruebas de estadísticas Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, correlación por coeficiente de Pearson, regresión lineal por estimación curvilínea, como resultados se concluyó que la variable de la anomalía de temperatura del Océano Pacifico Niño 3-4 y la variable del precio nacional kilovatio-hora; se encuentran correlacionadas de manera directa positiva con fuerza moderada. Esto permite el establecimiento de recomendaciones con base en las proyecciones realizadas mediante el modelo de suavización exponencial de Holt, para estimar un posible razonamiento de energía si no se realizan las inversiones en nuevos proyectos de generación eléctrica al ver el comportamiento de la demanda creciente.

Palabras clave: Demanda y oferta energética, fenómeno de El Niño, Modelamiento.

Abstract

This document reflects the steps that were necessary for the construction of the study on the impact of the variables that affect the behavior of demand and the price of electric power in Colombia, such as the climatic phenomenon such as El Niño, energy demand and supply, modeling of energy consumption by the population. The methodology is a quantitative analysis using statistical inferential techniques with reduction of the variables, data processing was performed by Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk statistics, Pearson coefficient correlation, linear regression by curvilinear estimation, as results concluded that the variable of the temperature anomaly of the Pacific Ocean Child 3-4 and the variable of the national price kilowatt-hour; they are correlated directly positively with moderate force. This allows the establishment of recommendations based on the projections made by the Holt exponential smoothing model, to estimate a possible energy reasoning if investments in new electricity generation projects are not made when seeing the behavior of the growing demand.

Keywords: El Niño phenomenon, energy demand and supply, modeling of energy consumption.

1. Introducción

La prestación del servicio de energía eléctrica es actualmente la base primordial para cualquier proceso productivo de cualquier empresa en cualquier parte del mundo. Indiferente de su modalidad, el suministro de energía eléctrica permite llevar a cabo el desarrollo de procesos clave y de soporte para aquellas empresas tanto generadoras de bienes como prestadoras de servicios. Dado el crecimiento del sector energético y su relativa importancia en prácticamente todos los ámbitos económicos, sociales, culturales, empresariales, entre otros; resultó atractivo analizar no solo aquellos componentes que la integran, sino además aquellos factores que determinan el comportamiento de este mercado en el corto, mediano, y largo plazo.

El presente documento refleja la realización de un estudio acerca del comportamiento correspondiente al mercado de energía eléctrica en Colombia, seleccionando un conjunto de variables y un horizonte de tiempo, a fin de determinar la posición de respuesta respecto a las actividades de transacciones comerciales y planificación de proyectos. De esta manera, se buscó realizar una revisión histórica existente en materia de Data del sector y se evaluó la influencia del clima sobre el comportamiento en los precios de la energía eléctrica. Como resultado, el análisis permitió conocer condiciones importantes para el contexto futuro hacia el logro de los resultados de las empresas que pertenecen al sector energético. Por último, se fijó una serie de recomendaciones y/o medidas en forma conclusiva con base en las técnicas y análisis respectivos.

Objetivo General

Estudiar el impacto de las variables que afectan el comportamiento de la demanda y el precio de la energía eléctrica en Colombia.

Objetivos Específicos

- Identificar las variables apropiadas para el estudio del sector de energía eléctrica en Colombia.
- Analizar por medio de herramientas estadísticas las variables seleccionadas para el estudio del sector energético en Colombia.
- Proponer recomendaciones como respuesta a la proyección del mercado energético.

Planteamiento de problema

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) presentó en el año 2015 el reporte sobre los consumos de energía eléctrica en Colombia, donde se pudo conocer que, de aquellos 16.420 GWh, su fuente de generación es mediante la participación de recursos hidráulicos (embalses) con un porcentaje del 66,60% equivalentes a 10.890 GWh, estableciéndose como el medio de generación que más aporta a la oferta del sector energético en el país. Dentro de este sector, encontramos valores, cifras e índices importantes; para analizar y contrastar con diversas variables. Para este estudio se toma como eje principal la demanda, por estar caracterizada con un incremento continuo y obligatoriamente próximo a promover respuestas por parte de los agentes encargados de los procesos de planificación de proyectos de generación, transmisión, y distribución. En este sentido, un tema relevante es el proyecto hidroeléctrico Ituango-Antioquia, una propuesta direccionada a generar alrededor de 2400 MWh, lo cual lograría suplir el incremento futuro de la necesidad de energía eléctrica para los diversos clientes del sector industrial, y hogar colombiano.

Adicionalmente, se propone estudiar la problemática que se presenta en el contraste del impacto del fenómeno de El Niño y como afecta

el precio de la bolsa nacional de energía eléctrica en Colombia (medido en peso sobre kilovatio-hora), plateándose hacer una serie de recomendaciones en contingencia para las posibles situaciones de razonamiento energético y apagones masivos en las regiones de Colombia.

Justificación

La presente investigación es de tipo correlacional causal transversal por fuentes secundarias, enfocada en identificar la información relacionada para encontrar un análisis apropiado de acuerdo a los objetivos que persigue el estudio, asimismo, estudiar el comportamiento del mercado eléctrico colombiano teniendo como referente una aproximación de la capacidad de oferta actual de todo el país, a fin de articular los resultados que se obtengan para crear conclusiones que corroboren en la visualización futura del mercado de energía eléctrica en Colombia. Es necesario analizar el planteamiento propuesto en el presente documento para crear una perspectiva en respuesta sobre las dudas que se puedan generar acerca del crecimiento de la demanda de energía eléctrica y la variación de los precios kilovatio-hora en Colombia.

Marco teórico

Centro nacional de despacho (CND)

Es la dependencia encargada de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional. El centro está encargado, también, de dar las instrucciones a los centros regionales de despacho para coordinar las maniobras de las instalaciones con el fin de tener una operación segura, confiable y ceñida al Reglamento de Operación y a todos los acuerdos del Consejo Nacional de Operación. (CREG, 1994, s.p)

Planeación de la operación energética

XM (s.f.), menciona:

“Su función es realizar los análisis eléctricos y energéticos sobre el comportamiento esperado del Sistema y proveer la información de las principales variables con el fin de alcanzar la calidad, confiabilidad y seguridad en la atención de la demanda de acuerdo con el marco regulatorio vigente”.

Regulación energética

En Colombia, la regulación energética está administrada por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), quienes se encargan de garantizar la calidad. Además, vigila la prestación continua e ininterrumpida del suministro de energía eléctrica.

Fenómeno de El Niño y La Niña

Los fenómenos de El Niño y La Niña son fenómenos meteorológicos de gran impacto sobre el sector eléctrico. El primero consiste en el calentamiento por encima de lo normal de las aguas tropicales del océano pacífico y que provoca un cambio en el patrón de comportamiento de los vientos y, por ende, en el patrón de comportamiento de las lluvias con un déficit en las regiones Caribe y Andina. Se caracteriza por temperaturas cálidas inusuales, con consecuencias significativas sobre el clima global. Por otra parte, el fenómeno de La Niña el caso contrario a El Niño, consiste en el enfriamiento por debajo de lo normal de las aguas tropicales del océano Pacífico, lo cual provoca un cambio en el patrón del comportamiento de los vientos. (Slideplayer, s.f.)

Se dice que un fenómeno de El Niño ocurre cuando la diferencia es mayor a +0,5 °C durante



cinco meses o más. Por el contrario, un evento de La Niña se presenta cuando la diferencia es menor a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante cinco meses o más. Cuando la anomalía del calentamiento supera el promedio histórico de la temperatura entre $0,5^{\circ}\text{C}$ y $0,9^{\circ}\text{C}$, el Niño se considera de intensidad débil. Si la anomalía se ubica entre $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ es moderado, y si fuese $\geq 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ la categoría será fuerte. (BANREP, 2014, p.2). Según Pinto y Salazar (2013) se requiere un modelo de desarrollo sostenible enmarcado dentro de la relación comunidad – ambiente de tal manera que se protejan las cuencas y se asegure que las políticas del estado contribuyan de manera asertiva a controlar el cambio climático.

Sector energético

Grupo Energía Bogotá (s.f.), explica:

El sector energético colombiano está conformado por distintas entidades y empresas que cumplen diversas funciones en los mercados de generación, transmisión, comercialización, y distribución de energía eléctrica. A continuación, presentamos algunos términos que pueden facilitar el conocimiento del sector y algunas de las entidades que lo conforman.

Capacidad efectiva neta

Es la máxima capacidad de potencia neta (expresada en valor entero en MW) que puede suministrar una planta y/o unidad de generación en condiciones normales de operación, medida en la frontera comercial. Se calcula como la Capacidad Nominal menos el Consumo Propio de la planta y/o unidad de generación. (CREG, 2002)

Mercado mayorista

Conjunto de sistemas de intercambio de información entre generadores y comercializadores de grandes bloques de energía

173

eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional, para realizar contratos sobre cantidades y precios definidos, con sujeción al Reglamento de Operación, y demás normatividad vigente. (CREG, 1994)

Bolsa de energía

CREG (1994), menciona:

“Sistema utilizado en el mercado mayorista para que generadores y comercializadores puedan efectuar transacciones de energía hora a hora, adicionales a las establecidas bilateralmente en los contratos de energía, por cantidades y precios determinados por el juego de libre oferta y demanda, de acuerdo a las reglas comerciales definidas en el Reglamento de Operación”.

Sistema interconectado nacional

Congreso de Colombia. (1994), define:

Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios.

Crecimiento poblacional

Girado & Martínez (2015), mencionan:

“aumento sustancial del número de personas habitantes en una ciudad durante un determinado periodo”. (p.22)

Modelo de Holt

Eppen (2000), explica: “los modelos de ponderación exponencial simple no se desempeñan muy bien en modelos que muestran tendencias obvias hacia arriba o hacia abajo (sin

estacionalidad) en los datos”. (p.632). La formulas son las siguientes:

$$\hat{y}_{t+k} = L_t + kT_t$$

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

El modelo de Holt, permite pronosticar hasta k periodos en el futuro. En este modelo, tenemos dos parámetros de ponderación, α y β , ambos entre 0 y 1. El término L_t indica el nivel a largo plazo o valor básico de los datos de la serie de tiempo. El termino T_t indica el incremento o decremento esperados por periodo (es decir, la tendencia). (Eppen, 2000, p.632)

2. Metodología

Planteamiento de las variables

Las variables seleccionadas corresponden al planteamiento de una hipótesis sobre el grado de influencia significativa entre los siguientes aspectos: el crecimiento poblacional (Miles), y la demanda de energía eléctrica nacional (MW); de igual modo, el valor mensual de anomalía (temperatura) océano pacifico Niño 3-4, y el promedio mensual bolsa nacional de energía eléctrica.

El objetivo de cada variable consiste en la identificación de una existencia de correlación asociada entre sí. Para el primer escenario, el promedio mensual del precio kilovatio-hora en contraste al factor temperatura, referente al valor mensual de anomalía Niño 3-4, para lograr entender al factor fenómeno climático y su impacto en el nivel de lluvias, el cual es fundamental para la generación de energía eléctrica mediante embalses, y asimismo su impacto sobre el precio del kilovatio hora - hora. De esta manera, se pretende comprender cómo la variación de lluvias tiene consecuencias directas

sobre los niveles de embalses, y porque restringe la oferta de energía eléctrica, y porqué varía el precio kilovatio-hora. Para ello, se realizará una comprobación de la distribución normal de las variables mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y/o Shapiro-Wilk, la aplicación de correlación de coeficiente de Pearson, por último, la regresión curvilínea.

Un segundo escenario, consiste en analizar el comportamiento entre la tasa de crecimiento poblacional en contraste a la demanda anual de energía eléctrica, en los periodos comprendidos entre el año 2000 al 2016. Se realizará una comprobación de la normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk, una regresión curvilínea para identificar el tipo de ecuación que describe apropiadamente los datos, y la aplicación de correlación bivariada mediante el coeficiente de Pearson. A fin de comprender, como el comportamiento del crecimiento de la población tiene un impacto sobre la demanda de energía eléctrica durante una línea de tiempo.

Tabla 1. Variables principales seleccionadas

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
CRMTPOBL	El crecimiento poblacional nacional en Colombia por años.
DMNCOL	Sumatoria demanda anual del mercado de energía eléctrica en Colombia.

Fuente: Los Autores.

Tabla 2. Variables secundarias seleccionadas

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
PMAOPN	Valor mensual anomalías (temperatura) del océano pacifico sector centro occidental Niño 3-4.
PRMBLSAN	Promedio mensual precio Bolsa Nacional (\$/KWh) del mercado de energía eléctrica en Colombia.

Fuente: Los Autores.

Análisis estadístico

Se desarrolló un análisis estadístico por medio de la herramienta SPSS (Statistical Product and Service Solutions) versión 23, el cual consistió generalmente en la formulación de las hipótesis,

la construcción de las gráficas, y la interpretación de los resultados obtenidos; a fin de validar el planteamiento sobre la existencia de relación significativa entre dichas variables. La muestra para el estudio fue de un total de 208 datos y 17 datos, respectivamente para cada escenario.

3. Resultados

3.1 Análisis Precio Promedio Bolsa Nacional (\$/KWh)(PRMBLSAN) y Valor Anomalía Océano Pacífico Niño 3-4 (PMAOPN)

La tabla 3, corresponde al resumen del procesamiento de variables, según los datos de PRMBLSAN, y PMAOPN; el cual consisten en el número de valores positivos, números ceros, numero de valores negativos, y numero de valores perdidos; como resumen previo a la aplicación de pruebas estadísticas. La muestra de datos corresponde a los periodos mensuales desde el año 2000 hasta la fecha corte mes Abril del 2017, dispuesta en la base de datos de XM.

Tabla 3. Resumen de procesamiento de variables primer escenario

Resumen de procesamiento de variables			
	Variables		
	Dependiente	Independiente	
	PRMBLSAN	PMAOPN	
Número de valores positivos	208	103	
Número de ceros	0	1	
Número de valores negativos	0	104	
Número de valores perdidos	Perdido por el usuario	0	0
	Perdido por el sistema	0	0

Fuente: Los Autores.

Para contrastar la distribución observada con la distribución teórica, se procedió a aplicar la prueba no paramétrica Kolmogorov-Smirnov

para una muestra, ara las variables PMAOPN, y PRMBLSA, al ser una muestra mayor de 30 datos. El planteamiento es el siguiente: la hipótesis nula H_0 , la distribución observada se asemeja a la distribución normal, y la hipótesis alterna H_a , la distribución observada no se asemeja a la distribución normal. En los resultados obtenidos en la tabla 4, se comprueba que con un nivel de significancia menor al 0,05, se acepta la hipótesis H_a , la distribución no se asemeja a la distribución normal para la variable PMAOPN, y PRMBLSAN; en ambos casos.

Tabla 4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
	PMAOPN	PRMBLSAN	
<i>N</i>	208	208	
<i>Parámetros normales^{a,b}</i>	<i>Media</i>	0,0229	125,5756
	<i>Desviación estándar</i>	0,88348	131,23772
<i>Máximas diferencias extremas</i>	<i>Absoluta</i>	0,066	0,245
	<i>Positivo</i>	0,066	0,197
	<i>Negativo</i>	-0,04	-0,245
<i>Estadístico de prueba</i>	0,066	0,245	
<i>Sig. asintótica (bilateral)</i>	,028 ^c	,000 ^c	

Fuente: Los Autores.

Para analizar la correlación entre las variables PMAOPN y PRMBLSAN, se procedió a calcular el coeficiente de correlación de Pearson, para obtener un resultado o coeficiente que oscila entre -1 y $+1$, se indica, además, que el signo representa la dirección. En resumen, para el primer caso la relación es perfecta negativa (relación inversa), y en el segundo caso perfecta positiva (relación directa). En principio para la interpretación del coeficiente se tiene en cuenta el valor 0, el cual quiere decir que no existe correlación lineal. Para el primer escenario, se obtuvo un valor de coeficiente de correlación de Pearson de 0,532, un valor que indica una correlación directa moderada a razón de estar cercano al valor uno (1). De acuerdo a las hipótesis planteadas, la hipótesis nula H_0 refiere

a que no existe una correlación entre las variables, y la hipótesis alterna H_a , hace referencia a que las variables estudiadas poseen relación entre sí. En los resultados obtenidos en la tabla 5, se comprueba que la significancia es menor al 0,05. Se acepta la hipótesis H_a , las variables PMAOPN y PRMBLSAN poseen correlación entre sí, de tipo moderada, a medida que aumenta el valor anomalía Océano Pacífico 3-4, aumenta el promedio mensual bolsa nacional de energía eléctrica.

Tabla 5. Correlación PMAOPN y PRMBLSAN

Correlaciones			
		PMAOPN	PRMBLSAN
PMAOPN	Correlación de Pearson	1	,532**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	208	208
PRMBLSAN	Correlación de Pearson	,532**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	208	208

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Los Autores.

En la tabla 6, se muestra la identificación de la estimación curvilínea del comportamiento de las variables PMAOPN y PRMBLSAN en contraste al modelo Cubico, arrojando como resultado un R cuadrado de 0,57, el cual quiere decir que la distribución observada se correlaciona de manera moderada con el modelo planteado con una significancia estadística de 0,000.

Tabla 6. Estimación curvilínea primer escenario

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro					
Variable dependiente: Promedio mensual Precio Bolsa Nacional (\$/KWh)					
Ecuación	Resumen del modelo				
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.

Cúbico	0,57	90,223	3	204	,000
--------	------	--------	---	-----	------

La variable independiente es Anomalía Mensual Océano Pacífico Sector Niño 3 - 4.

Estimaciones de parámetro			
Constante	b1	b2	b3
95,839	6,583	27,987	18,927

Fuente: Los Autores.

En la figura 1, se muestra el comportamiento de los datos de las variables PMAOPN y PRMBLSAN, en contraste a la línea del modelo cubico.

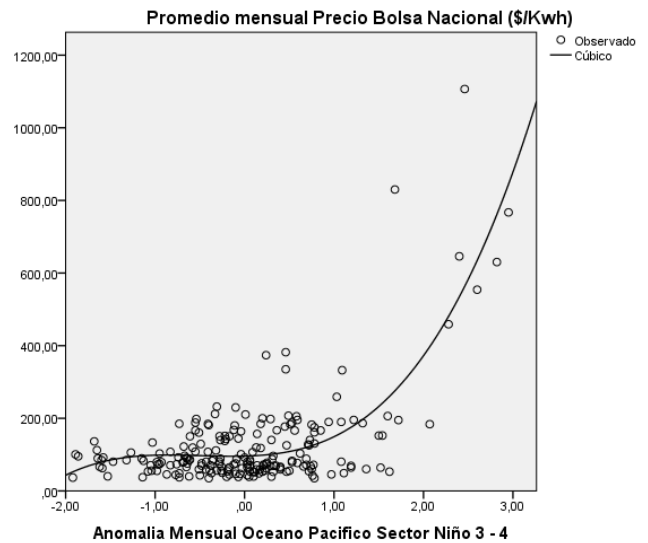


Figura 1. Dispersión simple PMAOPN y PRMBLSAN

Fuente: NOAA, XM, Los Autores.

3.2. Análisis crecimiento poblacional anual nacional (CRMTPOBL) y sumatoria demanda anual nacional de energía eléctrica (DMNCOL)

Para el análisis estadístico del segundo escenario, se muestra a continuación la tabla 7, consta del resumen de los datos utilizados para las variables de CRMTPOBL y DMNCOL, se visualiza el número de valores positivos, números ceros, números de valores negativos, y numero de valores perdidos.

Tabla 7. Resumen de procesamiento de variables segundo escenario

Resumen de procesamiento de variables		Variables	
		Dependiente	Independiente
		DMNCOL	CRMTPOBL
Número de valores positivos		17	17
Número de ceros		0	0
Número de valores negativos		0	0
Número de valores perdidos	Perdido por el usuario	0	0
	Perdido por el sistema	0	0

Fuente: Los Autores.

La tabla 8, muestra el contraste de la distribución de las variables CRMTPOBL y DMNCOL con la distribución teórica de normalidad. La aplicación se desarrolla mediante la prueba no paramétrica de Shapiro-Wilk para muestras menores de 30 datos, de acuerdo a la tabla 6, se posee una muestra de 17 datos, correspondiente a los periodos anuales del año 2000 al 2016.

El planteamiento es el siguiente: la hipótesis nula H_0 , refiere a que la distribución observada se asemeja a la distribución normal, y la hipótesis alterna H_a , la distribución observada no se asemeja a la distribución normal. El resultado obtenido de la prueba estadística para las variables del segundo escenario, arroja un nivel de significancia de 0,637 y 0,676; respectivamente para DMNCOL y CRMTPOBL. En ambos casos, la significancia es mayor al 0,05, se rechaza la hipótesis H_a , por lo que se afirma que la distribución observada se asemeja a la distribución normal.

Tabla 8. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Demanda de Energía KWH	0,96	17	0,637

Crecimiento poblacional	0,962	17	0,676
-------------------------	-------	----	-------

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Los Autores.

Para el análisis de correlación entre las variables de CRMTPOBL y DMNCOL, se utilizó la prueba estadística correlación bivariada coeficiente de Pearson para muestras de tipo *Razón*. El planteamiento es el siguiente: la hipótesis nula H_0 refiere que no existe una correlación o fuerza de asociación entre las variables, y la hipótesis alterna H_a , refiere que las variables estudiadas tienen correlación entre sí. De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 9, se observa un nivel de significancia estadística de ,000 menor a 0,05; en otro aspecto, se obtuvo un valor de 0,996** de correlación de Pearson, lo cual indica una próxima correlación perfecta positiva relacionada directamente en las variables seleccionadas. Debido a lo cual, las variables CRMTPOBL y DMNCOL, se encuentran fuertemente correlacionadas entre sí, debido a que se acepta la hipótesis alterna H_a . **A medida que asciende la variable de crecimiento poblacional nacional, asciende la demanda de energía eléctrica anual en Colombia.**

Tabla 9. Correlación CRMTPOBL y DMNCOL

Editar tabla , según lo mencionado			
		CRMTPOBL	DMNCOL
CRMTPOBL	Correlación de Pearson	1	,996**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	17	17
DMNCOL	Correlación de Pearson	,996**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	17	17

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Los Autores.

En la tabla 10, se muestra la estimación curvilínea del comportamiento de las variables CRMTPOBL y DMNCOL en contraste al modelo *Lineal*, se obtuvo un R cuadrado de 0,993, el cual describe que la distribución que poseen los datos seleccionados se correlaciona de manera fuerte con el modelo lineal, además se acepta dicha afirmación con una significancia estadística de ,000 la cual es menor al alfa de 0,05.

Tabla 10. Estimación curvilínea segundo escenario.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro					
Variable dependiente: Demanda de Energía KWH					
Ecuación	Resumen del modelo				
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.
Lineal	,993	2110,619	1	15	,000

La variable independiente es Crecimiento poblacional.

Estimaciones de parámetro	
Constante	b1
-76973037156,111	2937,045

Fuente: Los Autores.

La figura 2, muestra la dispersión simple para las variables crecimiento poblacional anual de Colombia ubicada en el eje Y, y la sumatoria de la demanda de energía eléctrica nacional medido en KWh en eje X, se visualiza el comportamiento lineal que poseen las variables en conjunto y como se integra con una ecuación lineal.

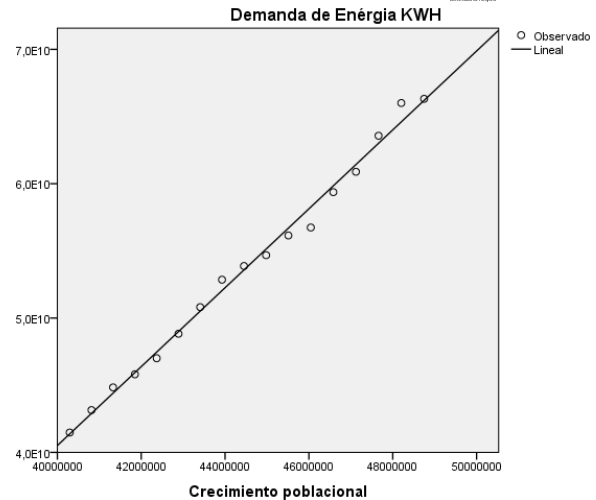


Figura 2. Dispersión simple CRMTPOBL y DMNCOL con estimación curvilínea

Fuente: XM, DANE, Autores.

3.3 Proyección de la demanda de energía eléctrica nacional de Colombia

Para la realización de la proyección se utilizó el modelo de Holt para los periodos futuros de 5, 10, y 15 años; como se observa en la figura 2, la demanda de energía eléctrica anual posee un comportamiento lineal por simple observación, debido a lo cual se hace necesario utilizar un método que permita evitar errores y lograr un resultado asertivo. Para el modelo de Holt se plantea como aspecto inicial un $\alpha = 0,5$ y $\beta = 0,5$, un término de nivel $L_t = 41.479 GWH$, un término de tendencia $T_t = 0$; para los periodos comprendidos desde el año 2000 al 2016.

En la figura 3, se muestra el comportamiento de la demanda de energía eléctrica anual (GW) en contraste el crecimiento de la poblacional (Miles) de Colombia.

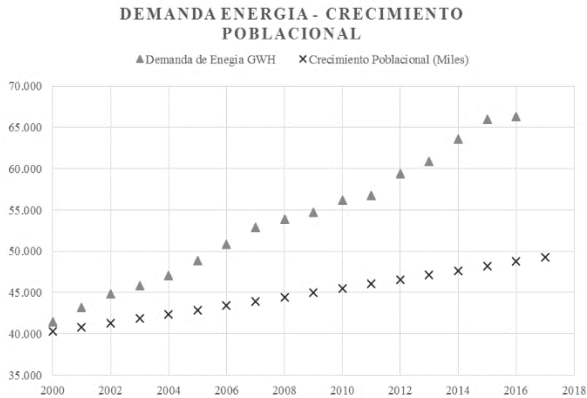


Figura 3. Dispersión Simple demanda versus crecimiento poblacional anual

En la figura 4, se muestra el resultado proyectado para el 2017 es de 69.304 GW, 2020 es de 75.171 GW, 2025 es de 84.948 GW, 2030 es de 94.725 GW, y 2035 un valor de 104.503 GW. Los valores fueron obtenidos con un error porcentual medio absoluto EPMA de 1.8%.

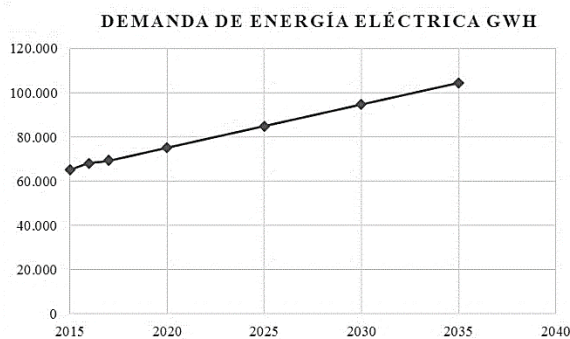


Figura 4. Proyección demanda de la energía eléctrica en Colombia.

Tomando como referente el valor disponibilidad real hidráulica del mes de mayo de 2017 equivalente a 9.468 GWh y una demanda de energía del SIN equivalente a 5.486 GWh, se visualiza un porcentaje de utilización del 58% de manera inductiva utilizando estos valores, ya que el valor de utilización real es muy variable de acuerdo a los impactos de los fenómenos climatológicos.

Conclusiones

Se logró identificar las variables que tienen un considerable impacto sobre los precios de la bolsa nacional de energía eléctrica y la demanda de energía eléctrica. De acuerdo a los resultados obtenidos, se logra afirmar que la variable de la anomalía de temperatura del Océano Pacifico Niño 3-4 y la variable del precio nacional kilovatio-hora; se encuentran correlacionadas de manera directa positiva con fuerza moderada, observándose que en casos donde las variaciones de anomalía son muy fuertes, los precios ascienden de manera exponencial, entre tanto, cuando las variaciones se comportan en un término débil sus precios se mantienen estables, por otro lado, cuando tienden a ser negativas las variaciones, el precio tiene una tendencia a descender pero no necesariamente de una manera drástica a comparación del caso de las variaciones positivas, como adicional, se logró establecer el comportamiento entre las mencionadas variables como una ecuación cubica.

Para el escenario crecimiento poblacional y demanda de energía eléctrica, se establece una correlación fuerte, es decir a medida que aumenta una variable asciende la otra contraparte. Por tanto, se hace necesario ampliar la capacidad efectiva neta a largo plazo, para suplir la demanda futura, considerando los tiempos de espera durante consolidación y terminación de los proyectos energéticos, los cuales terminan gastando abundantes recursos y se prolongan en el horizonte de tiempo. Además, se debe tener en cuenta el comportamiento de los fenómenos del Niño o La Niña, ya que por su naturaleza son impredecibles, por tanto, se sugiere calcular una reserva para suplir un fenómeno emergente a fin de evitar elevar los precios como sucedió en el 2016, los cuales ascendieron por encima de los 1000 \$/KWH.



El análisis de las variables anteriores determina que el mercado energético va crecer, requiere de inversiones para suplir la demanda, el debate es la diversificación de las fuentes de generación de energía, por el precio del KWH cuando llegan fenómenos climatológicos extremos.

Agradecimientos

Al grupo de investigación INGAPO, por brindar espacios de desarrollo de habilidades de investigación para futuros profesionales.

Referencias Bibliográficas

BANREP (2014). El Fenómeno de El Niño en Colombia: Caracterización y Posible Impacto. *Reporte del Emisor*. (182). 1-7. ISSN: 01240625. http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/re_182.pdf

Congreso de Colombia (1994). Artículo 11 (Capítulo II), (Ley 143/1994). <https://www.minminas.gov.co/documentos/10180/23517/21443-3668.pdf>

Eppen, G. D. (2000). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. México: PRENTICE-HALL, 2000. 792 p. ISBN: 970-17-0270-0.

CREG (1994). Resolución No. 055 (1994), Capítulo I, Artículo 1, Bogotá, Colombia, diciembre. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Index01/Resoluci%C3%B3n-1994-CRG94055>

CREG (2002). Resolución No. 074, Anexo 4 de la Resolución CREG-116 de 1996. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Index01/Resoluci%C3%B3n-2002-CREG074-2002>

ice01/Resoluci%C3%B3n-2002-CREG074-2002

Giraldo y Martinez (2015). Comportamiento del Crecimiento Poblacional en Relación con los Índices de Pobreza en las 13 Principales Ciudades Colombianas. (Tesis de Grado). Universidad de Cartagena, Colombia. <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2487>

Grupo Energía Bogotá (s.f.). Sector Energético en Colombia. <https://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia>

Pinto, H Jorge Enrique Salazar de Cardona, Melva (2014). Cambio climático y vulnerabilidad: prospectivas para la región nororiental de Colombia-Santanderes. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 2014.12 (1):16-45 http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_vicceinves/index.php/BISTUA/article/view/1817/807

UPME (2015). Proyección de la Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. Marzo, 2015. http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_demanda_energia_electrica_Marzo2015.pdf

Rengifo Rodas CF, Castro Casas N, Bravo Montenegro DA (2017) A performance comparison of nonlinear and linear control for a DC series motor. *Ciencia en Desarrollo*. 8(1): 41-50

Slideplayer (s.f.) Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales "IDEAM": Fenomeno de la niña 2010-2011. <http://slideplayer.es/slide/12079015/>



181

XM. (s.f.) XM filial de ISA. Obtenido de XM:

<http://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Herramientas/preguntas-frecuentes.aspx>

Vera, J. y Cañón, J. (2018). El valor agregado de un sistema de gestión ambiental más allá de la certificación. Revista de la Facultad de Ciencia Básicas, 16(1), 86-91.

*Para citar este artículo: Peña R B., Cadena G D., Ravelo Paez H.D., Maldonado Barajas.D.J., Medina Ovalles.L.D.Environmental variables affecting the behavior of demand and the price of electric power in Colombia . Revista Bistua.2019. 17(2):170-181.

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas : Peña Rodriguez B.. Programa Ingenieria Industrial.Facultad de Ingenierias y Arquitectura. Universidad de Pamplona. E-mail: belisariop@unipamplona.edu.co

Recibido: Septiembre 11 de 2018

Aceptado: Enero 26 de 2019