

Proyección de Series de Tiempo para el Consumo de la Energía Eléctrica a Clientes Residenciales en Ecuador

Manuel Chong^a, Renato Aguilar^b

^a Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Concepción, Victoria
471, Concepción, Chile
manuelchong90@gmail.com

^b Departamento de Economía, University of Gothenburg, Sweden
renato@pantruca.com

Resumen

La energía eléctrica y su consumo son factores fundamentales para países desarrollados, ya que puede ser usada para generar otras energías por ejemplo en maquinarias para emplear energía mecánica o en los hogares para generar fuente de iluminación. La proyección del consumo de electricidad será información valiosa para el generador de esta energía, ya que puede saber cuánta potencia necesita para satisfacer la demanda residencial, dar mantenimiento a elementos del sistema, optimizar su oferta de energía y así maximizar su rentabilidad. Si se genera una mala proyección de energía eléctrica puede llevar a una planificación deficiente generando fuertes gastos operacionales y económicos al país. El objetivo de esta investigación es presentar una proyección del consumo de electricidad para clientes residenciales del Ecuador para los meses que van desde el año 2013 hasta el año 2022; usando series de tiempo mediante la construcción de modelos ARIMA para el caso univariado y modelos ARIMAX para el caso multivariado. Además, dejaremos en evidencia factores que afectan al consumo eléctrico residencial que son: el precio de electricidad, el ingreso y precio del petróleo. También se entregan elasticidades precio e ingreso de la demanda, que fueron de -0,22 y 0,13 respectivamente. Se contrastó las bondades de ajuste que fueron mayores a 98 por ciento, coeficientes correlaciones mayores a 80 por ciento y errores medio absolutos menores a 3 por ciento.

Palabras Clave: Proyección, Consumo de energía eléctrica sector residencial en Ecuador, ARIMA, ARIMAX, Elasticidades, Error.

1 Introducción

En esta sección se va a dar una introducción al estudio, las motivaciones que fueron base para desarrollar el trabajo investigativo y los objetivos que alcanza al culminar la investigación. La predicción de acontecimientos ha encantado al ser humano desde tiempos antiguos. El primer hombre capaz de realizar una predicción fue Thales de Mileto, quien predijo un eclipse total de sol ocurrido el 28 de mayo del 585 a.C., una base cronológica de eclipses registradas por astrónomos egipcios. Desde el invento de la bombilla eléctrica en el siglo XIX, se dio paso a la revolución eléctrica donde se dejó de usar elementos como carbón y gas para la iluminación de los hogares.

El consumo de energía eléctrica es un factor importante para sociedades industrializadas, siendo un insumo esencial para diferentes sectores como el industrial, comercial y residencial. La demanda de electricidad ha venido creciendo a lo largo de las últimas décadas, provocando que la generación de esta sea prioridad para varios países, los cuales empezaron a construir centrales hidroeléctricas, térmicas, nucleares, entre otras fuentes de producción.

El reporte de competitividad global 2013-2014 del World Economic Forum ubicó a Ecuador en el puesto no. 84 de un total de 148 países en la categoría de calidad de eléctrica, evaluado en 4,5 sobre 7. La demanda de electricidad en Ecuador ha crecido continuamente en la última década llegando a consumir un 53 por ciento más que hace diez años.

Para realizar una correcta proyección, vamos a efectuar un análisis detallado sobre las observaciones pasadas más la relación que hay entre ellas. “La búsqueda de la relación existente entre el valor actual de una variable y los valores pasados de la misma, o de otras variables que puedan influir sobre el valor de la primera, constituye una de las bases del desarrollo de modelos de predicción”. Ver [8].

Motivo por el cual en esta investigación se centra en la elaboración de un modelo multivariado que disminuya el error de pronóstico. Este trabajo de investigación está encaminado a constatar y comprobar aspectos del sistema eléctrico ecuatoriano, lo cual requiere una indagación más profunda usando modelos econométricos que compruebe el comportamiento de las variables del consumo de energía eléctrica. “Establecer, entonces, un sistema permanente de planificación energética integral, basada en información confiable, sistemática y actualizada, es sustancial para mejorar la eficacia energética en los usos térmicos y eléctricos”. Ver [9]

La predicción es una herramienta de gran utilidad, debido a que ayuda a la planificación y anticipación de sucesos que afecten al sistema eléctrico. Para el sector eléctrico, conocer con antelación el consumo del mercado ayuda al generador de energía conocer cuánta potencia necesita para satisfacer a la demanda, dar mantenimiento a elementos del sistema, optimizar su oferta de energía y así maximizar sus beneficios. El generador de energía debe garantizar un equilibrio continuo entre la electricidad que se produce y la que se consume, ya que la electricidad es un insumo que no se puede almacenar de forma masiva, dejando evidencia la complejidad de predecir el consumo eléctrico. Justificativo por el cual se realizó este estudio.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar modelos que permitan la proyección del consumo de la energía eléctrica en el Ecuador para usuarios del sector residencial. Además se entregan elasticidades precio e ingreso de la demanda de energía y se comprueban los resultados obtenidos del modelo versus los valores reales del consumo de energía eléctrica. Se aplicarán modelos econométricos debidamente probados, vigentes y adecuados a la característica del sector eléctrico. Además, este trabajo ayuda a incrementar la literatura disponible en Ecuador sobre este sector la cual en su mayoría es de carácter descriptivo y cualitativo.

1.1 La Energía Eléctrica en Ecuador

Para conocer la situación de la energía eléctrica en el Ecuador, podemos recurrir a los datos oficiales que son proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) y que vamos analizar. Conforme a la Tabla 1, a diciembre del 2013 la participación en el mercado eléctrico del Sistema Nacional Interconectado¹ (SNI) fue del 87 por ciento, mientras que el Sistema no Incorporado² fue del 13 por ciento. A nivel nacional, la participación sobre la generación de energía por parte de las termoeléctrica fue del 49,6 por ciento, de las hidroeléctrica fue de 46,1 por ciento, en tanto que el 1,5 por ciento correspondió a energías renovables no convencionales lo que presenta un incipiente desarrollo en este tipo de energía. Para el año 2013 las interconexiones por parte de Colombia y Perú contribuyeron con 543,19 MW y 119,15 MW respectivamente a la energía eléctrica ecuatoriana.

Tabla 1. Potencia eléctrica efectiva para el año 2013 medido en MW.

Sistema	Tipo de Central	Potencia Efectiva	Porcentual (%)
SNI	Eólica	53,25	0,2
	Hidráulica	11021,26	46,1
	Solar	3,10	0,0
	Térmica	8776,43	36,7
	Biomasa	295,79	1,2
	Interconexión	662,34	2,8
Total SNI		20812,17	87,0
No Incorporado	Eólica	3,45	0,0
	Térmica	3089,00	12,9
	Hidráulica	17,56	0,1
	Solar	0,56	0,0
Total No Incorporado		3110,57	13,0
Total		23922,74	100,0

Dado una alta sequía, bajos niveles de importación de electricidad de Colombia, incumplimientos de obras planificadas y un mayor consumo energético desencadenado en Octubre del 2009 una de las más grandes crisis energéticas en los últimos años lo que causó racionamientos eléctricos en todo el país. Lo que determino tomar medidas de compensación mediante la construcción de siete nuevas hidroeléctrica, para aumentar la generación de energía eléctrica al corto plazo que satisfaga la creciente demanda y dejara a un lado la dependencia de electricidad importada.

En Ecuador para los meses que van desde Abril hasta Septiembre tiene lugar la temporada lluviosa, mientras que el periodo de estiaje sucede en los meses de Octubre

¹ Sistema integrado por elementos del sistema eléctrico, el cual permite la producción y transferencia entre centros de generación, centros de consumo y nodos de interconexión internacional.

² Aquel sistema eléctrico que no está conectado al S.N.I.

hasta Marzo. Por ello el mantenimiento de centrales térmicas se realiza en la estación lluviosa y los de las unidades hidráulicas durante la estación seca.

2 Estado del Arte

En esta parte del artículo elaboramos un resumen de las investigaciones internacionales y nacionales consultadas, además aporte de estas en el área y sus principales resultados. En la investigación de [5] se estudió la estabilidad de las variables explicativas de la demanda de electricidad, la cual depende negativamente del precio de electricidad y positivamente del: ingreso per cápita, precio del petróleo y stock de casas. La variable stock de casas es tomada como variable proxy del número de electrodoméstico, ya que en los sesenta la mayoría de equipos usados en el hogar consumían electricidad. El trabajo de [1] pronosticaron los efectos a corto y largo plazo de la demanda eléctrica para el sector residencial de Sri Lanka. Las variables exógenas de la investigación son: el producto interno bruto (PIB) per cápita, el precio del queroseno, el precio del gas licuado y el consumo medio desde 1960 hasta 2007. El consumo tiene una elasticidad precio a corto plazo de $-0,16$ y a largo plazo de $-0,62$ así como una elasticidad ingreso de corto plazo de $0,32$ y de largo plazo de $0,78$.

En [3] se estudió en Chile la demanda residencial de electricidad a frecuencia mensual desde 1995 hasta el 2001. Se aplicó datos de paneles dinámicos con procesos de ajustes no instantáneos; las variables explicativas fueron: la población, precio de electricidad, precio del gas licuado y el ingreso. Como no existen datos mensuales del ingreso, se tomó como variable proxy el Indicador Mensual de Actividad Económica³ (IMACEC); la elasticidad precio de la demanda fue de $-0,05$ por ciento. En Colombia [11] elaboraron una investigación que tuvo como objetivo pronosticar la demanda de energía eléctrica haciendo uso de modelos ARIMA. Se usó una base datos a frecuencia diaria suministrada por la Empresa de Energía de Pereira que van desde enero de 2001 hasta diciembre de 2001. El modelo seleccionado es un SARIMA $(1,0,0)(2,1,0)$ con errores distribuidos normalmente que permite confiar en la bondad de ajuste.

En [6] se describe que para el año 1996 las reformas adoptadas por el sector eléctrico ecuatoriano tenían el objetivo de incentivar la participación del sector privado para aumentar la eficiencia y financiamiento de recursos sin cargo de endeudamiento al sector público. Este proceso no pudo superar las debilidades financieras del sector; las cuales se reflejaron en altos niveles de pérdidas que cayeron en los suministradores y consumidores del sector. Este modelo causó una serie de inconvenientes, hasta el punto de ser necesaria la intervención estatal. En el Plan Nacional de Electrificación 2004-2013, informado en [4], se toma como variables explicativas al consumo eléctrico: el PIB y el precio de la electricidad; este plan toma

³ Es un índice representativo de la actividad económica de Chile, abarcando alrededor del 90 por ciento de los bienes y servicios que componen el PIB del país y emulando por lo tanto parte de su comportamiento. Este indicador muestra el comportamiento de la economía en un período de corto plazo usualmente mensual.

un horizonte de 10 años. Su desventaja radica que no cuenta con estudios que confirme que la metodología usada sea la correcta.

El trabajo de [10] se llega a la conclusión que la participación de la generación térmica en el total ascendió del 27 por ciento en 1991 al 47 por ciento en 2006, y la importación de electricidad alcanzó el 10 por ciento del consumo en este último año. A partir del 2006, el gobierno de Correa ha reiniciado la inversión en energías renovables, con énfasis en la construcción de grandes centrales hidroeléctricas. Se ha estimado el potencial hidroeléctrico aprovechable del Ecuador es de 21500 MW, de los cuales se utiliza solamente el 10 por ciento. La inversión a nuevas fuentes renovables de electricidad está desproporcionadamente concentrada en recursos hidroeléctricos, con escasa atención a otras fuentes de energía, como la eólica, solar y geotérmica pese al alto potencial que existe en el país. Ecuador tiene un enorme potencial energético no aprovechado en energías renovables, pero las distorsiones provenientes de la abundancia de petróleo han obstaculizado su desarrollo. En la actualidad, en la medida que la extracción petrolera ha empezado a declinar debido al agotamiento de las reservas, la diversificación energética es imperiosa y urgente.

3 Metodología

Vamos a presentar en esta parte la metodología usada en las proyecciones, la forma de obtener las elasticidades precio e ingreso y como capturamos es error cometido en las proyecciones. La ventaja que tiene la metodología ARIMA es su gran flexibilidad, es decir, los datos se ajustan a una serie particular.

Sin embargo, se renuncia a información relativa del comportamiento que tiene otras variables explicativas con el consumo de electricidad. Por lo anteriormente expuesto, esta investigación, a mas de usar metodología ARIMA, también hace uso de la metodología ARIMAX para recuperar capacidad de análisis, rescatamos, el estudio teórico de esta variables y su indudable utilidad en implicancias políticas.

3.1 Procedimiento de Modelo ARIMA y ARIMAX

Con la nomenclatura AR en ARMA nos referimos a valores rezagados de la variable dependiente en la serie de tiempo, en cambio con MA nos referimos a retrasos del término de error originados por el carácter estocástico de los modelos ARMA. Entonces los modelos ARMA son, simplemente, modelos de regresión con retardos de la variable dependiente y_t y retardos del término de error μ_t . Un proceso general ARMA (p,q) con p términos autorregresivos y q términos de promedio móviles lo representamos como:

$$y_t = \beta + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \mu_t + m_1 \mu_{t-1} + m_2 \mu_{t-2} + \dots + m_q \mu_{t-q}. \quad (1)$$

Un modelo ARIMA (p,d,q) es un modelo ARMA (p,q) donde la serie de tiempo sufre de una transformación en diferencias finitas. El argumento d denota el orden de diferencia, es decir restamos cada elemento de la serie la observación anterior d veces.

$$\Delta y_t = (1-L) y_t = y_t - y_{t-1} . \quad (2)$$

Donde Δ es el operador de diferencia y L es el operador de rezagos que retardan una posición la observación. ARIMAX es un acrónimo de un proceso autorregresivo integrado con promedios móviles usando variables exógenas. Es una extensión del modelo ARIMA, cuando los términos de AR y MA en un modelo ARIMA no son lo suficientes para entregar un valor aceptable de poder explicativo. La incorporación de variables independientes al modelo nos permitirá sacar conclusiones económicas sobre la relación de la variable dependiente con las exógenas. Un proceso general ARIMAX (p,d,q) con p términos autorregresivos, q términos de promedios móviles, n variables explicativas y nivel d de diferencias lo representamos como:

$$\Delta y_t = \mu_t + \beta + \delta_1 x_1 + \dots + \delta_n x_n + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + m_1 \mu_{t-1} + \dots + m_q \mu_{t-q} . \quad (3)$$

Existen cuatro supuestos estadísticos que se debe examinar para asegurar que los resultados del modelo ARIMAX sean válidos, se los explica a continuación:

- Supuesto 1: Se requiere que la serie de tiempo sea estacionaria, es decir, que media y varianza no varíen en el tiempo.
- Supuesto 2: Los residuos no debe poseer un nivel significativo de autocorrelación. Lo evaluaremos mediante el test de Breush-Godfrey. Si existe presencia de este problema, se lo reduce agregando una combinación apropiada de uno o más términos AR y/o MA
- Supuesto 3: El coeficiente estimado de una variable exógena debe ser significativo en su valor-p. El nivel significativo del valor-p de los coeficientes asume que los residuos de la regresión sean ruido blanco.
- Supuesto 4: Una variable exógena puede mostrar una relación significativa con la variable dependiente, pero esto no se debe cumplir en viceversa. El nivel de causalidad lo mediremos usando el test de Granger⁴. Si se observa una causalidad inversa, se debe retirar la variable independiente.

En la Figura 1 detallamos los pasos que vamos a realizar, por medio de un flujograma para alcanzar la proyección del consumo de energía eléctrica a clientes residenciales en Ecuador usando la metodología ARIMAX.

3.1 Modelo Teórico y Elasticidades

Al momento de estipular un modelo de demanda, como lo vamos hacer en esta investigación, se puede usar una función del siguiente tipo:

⁴ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 696)

$$C = f(P, P_s, I, y) . \quad (4)$$

En esta función C representa la cantidad demanda del bien, P es el precio de dicho bien, P_s son precios de otros bienes sustitutos o complementarios, I representa el ingreso de los demandantes e y son otros factores relacionados al consumo del bien. Nuestra investigación se apoya en la teoría de la demanda del consumidor, donde los consumidores incrementan su consumo si el ingreso que ellos perciben crece pero tal vez no en la misma proporción del crecimiento de sus ingresos. Además de aquello nos apoyamos en la ley de demanda decreciente, que menciona que el precio del bien se relaciona inversamente con el consumo de dicho bien. La elasticidad precio de la demandan es un concepto que mide la variación de la cantidad demandada de un bien cuando varia su precio.

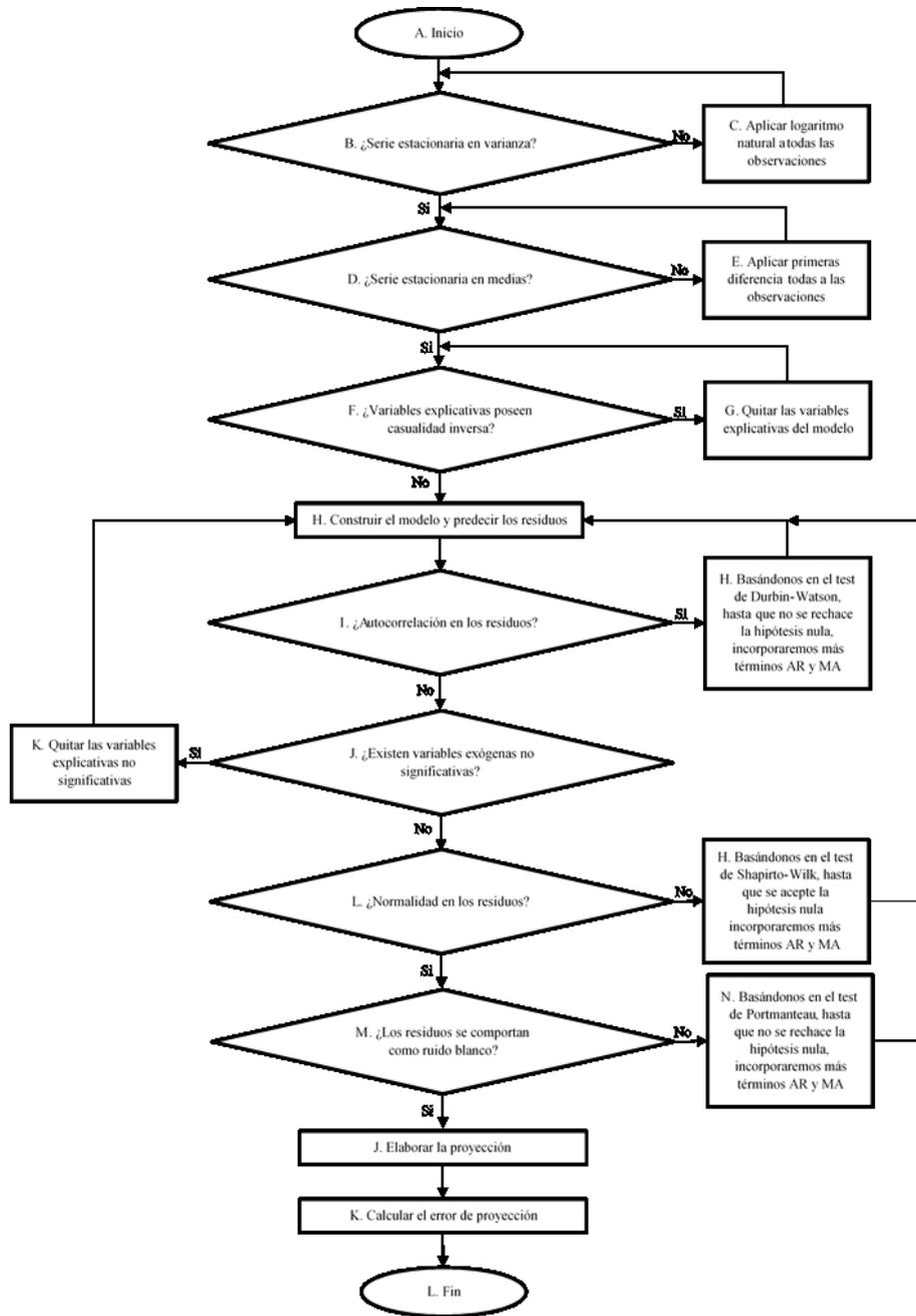


Fig. 1. Proceso para la modelación ARIMAX.

En esta investigación se espera que la elasticidad precio de la demanda sea negativa. Al respecto de la elasticidad ingreso de la demanda se espera que sea positivo. Para generar los índices de la elasticidad precio e ingreso de la demanda, se necesita realizar una transformación lineal al modelo original con logaritmos naturales y así captura el grado de respuesta de una variable ante variaciones de la otra.

$$\ln C = \beta + \delta_1 \ln P + \delta_2 \ln P_s + \delta_3 \ln I + \delta_4 \ln y + \mu. \quad (5)$$

En base a lo anteriormente expuesto y siguiendo además a [5], [1] y [3] donde desprenden las variables explicativas que alteren el consumo de energía eléctrica. Se plantea inicialmente el siguiente modelo de regresión para el consumo de energía eléctrica de los clientes residenciales del Ecuador:

$$\Delta(\ln Y_t) = \beta + \delta_1 \ln P_t + \delta_2 \ln B_t + \delta_3 \ln F_t + \delta_4 \ln IAE_t + \delta_5 \ln N_t + \delta_6 \ln C_t + \alpha_1 \ln Y_{t-1} + \dots + \alpha_p \ln Y_{t-p} + \mu_t + m_1 \ln \mu_{t-1} + \dots + m_q \ln \mu_{t-q}. \quad (6)$$

Se considera entonces como variable dependiente al consumo de energía eléctrica de los clientes residenciales Y , como variables explicativas: el precio medio de la energía eléctrica para clientes residenciales P , el precio del barril de petróleo West Texas Intermediate (WTI) B , el precio del barril del fuel oil 6 F , el índice de la actividad económica mensual IAE como variable proxy del ingreso, el número de clientes residenciales N como variable proxy de electrodoméstico, el caudal del embalse Amalusa C y el error del modelo μ . El subíndice t hace referencia al valor que toma las variables en el tiempo t . Las variables que se utilizarán en esta investigación están en frecuencia mensual, para la estimación del consumo se cuenta con una serie que va desde enero del 2004 hasta diciembre del 2012 contando con 108 datos para cada variable. Los datos que se usan en esta investigación están proporcionados por ARCONEL, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Banco Central del Ecuador; estos datos fueron proporcionados en la página web de cada entidad y otros fueron requeridos por el investigador a estas entidades.

3.5 Proyecciones

Para generar las proyecciones usando la metodología ARIMA se necesita valores pasados de la variable dependiente. Para las proyecciones bajo la metodología ARIMAX debemos, además de valores pasados de la variable, poseer proyecciones de las variables explicativas del consumo de energía eléctrica. Por ello recurrimos a información del [2] y del [7] donde obtuvimos tasas de crecimiento para los periodos de nuestra proyección, que va desde enero del 2013 hasta diciembre del 2022. Se va a generar tres escenarios de proyección para poder englobar más la realidad, los cuales se detallan a continuación:

- Decrecimiento económico: En este escenario los precios medios de electricidad son más altos, el índice de actividad económica decae y el precio del barril de petróleo WTI disminuye.

- Proyección media: Los porcentajes van a ser recogidos de las entidades ya mencionadas.
- Crecimiento económico: En este escenario los precios medios de electricidad disminuirán, el índice de actividad económica aumentara y el precio del barril de petróleo WTI crecerá.

3.6 Evaluación del error de predicción

Evaluaremos el error de las predicciones mediante el uso del porcentaje del error medio absoluto (MAPE), mostrado en la siguiente ecuación.

$$\text{MAPE} = 100/N \sum_{t=1}^n |(A_t - P_t) / A_t|. \quad (7)$$

Donde A_t representa el valor verdadero de la variable predicha, P_t es el valor pronosticado de la variable estudiada en el periodo t , N es el número de observaciones

4 Resultados

En esta sección mostramos los resultados obtenidos paso a paso. En la Figura 2 Se aprecia que la serie del consumo eléctrico del sector residencial es no estacionaria en varianza ni en media ya que sufre de una tendencia y hay cambios en los niveles que oscila la serie. Aplicaremos logaritmo natural a los valores para asegurar la estacionariedad en varianza y para entregar elasticidades.

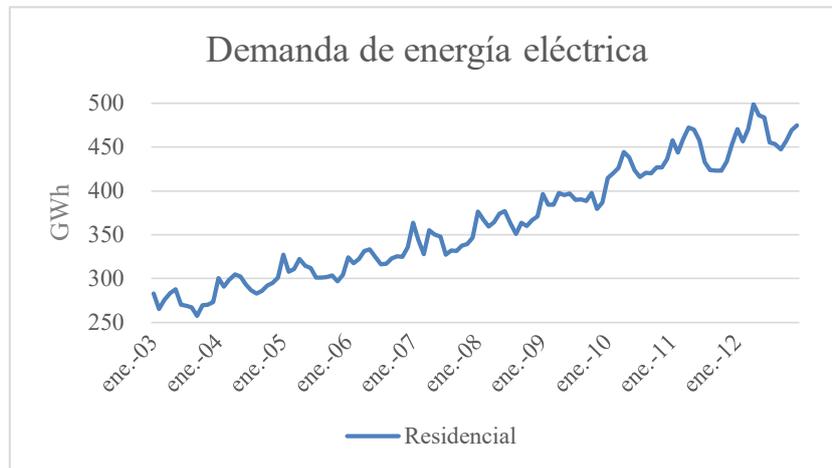


Fig. 2. Consumo de energía eléctrica medido en GWh a frecuencia mensual del periodo 2004-2012.

Aplicamos un grado de diferencia a los valores del consumo de energía eléctrica residencial para corregir la no estacionariedad en media, después verificamos la presencia de ésta usando el test de Dickey-Fuller, información mostrada en la Tabla 3. Si el valor del estadístico es menor al valor crítico, será evidencia de estacionaria en media. La Tabla 2 nos sugiere que hay presencia de estacionariedad en media.

Tabla 2. Test de Dickey-Fuller en primera diferencia.

	Prueba Estadística	Valor Crítico		
		1%	5%	10%
Residencial	-10,781	-3,508	-2,890	-2,580

Luego de aplicar la logaritmo natural y diferencia en primer grado, probaremos si existe un nivel de causalidad inversa, es decir, si la variable endógena causa a la variable independiente. Si hay evidencia de ésta se retira la variable exógena del posible modelo. Se verifica la causalidad haciendo uso del test de Granger donde si el valor calculado es mayor al 10 por ciento de significancia entonces no se rechaza la hipótesis nula, es decir, no hay evidencia que la variable exógena cause a la variable endógena. Se verá la causalidad individualmente y en bloques.

Tabla 3. Test de Granger.

	Demanda	
	Individual	Bloque
Precio	0,633	0,860
I.A.E.	0,123	0,242
Barril WTI	0,161	0,152
Número de cliente	0,018	0,144
Caudal	0,039	0,002
Fuel Oil 6	0,979	0,833

En la Tabla 3 el nivel de significancia nos sugiere que el número de clientes residenciales y el caudal condicionan inversamente al consumo eléctrico, lo que significa que no poseen valor predictivo para nuestro modelo. Removeremos de nuestro modelo el fuel oil 6 ya que no posee un grado de variabilidad porque su precio es decidido por políticas económicas.

En la Tabla 4 ejecutamos las regresiones con las variables explicativas, los rezagos de la variable dependiente y rezagos del término de error. Identificar un adecuado orden para el modelo ARIMAX representa un proceso interactivo de selección de términos AR y MA. Dado que más de una combinación nos da rezagos significativos, seleccionaremos el modelo que tenga un menor valor Akaike (AIC) y/o Bayesiano (BIC).

Aplicamos una variable muda y la incorporamos a la regresión, ésta va atrapar los valores atípicos de la serie de precio medio. La variable muda va hacer referencia al cambio estructural que sufre la serie debido a la desaceleración económica mundial del año 2008. En la Tabla 5 mostramos las tres posibles regresiones mediante la metodología ARIMAX; estas tres regresiones toman como variables explicativas al precio medio de la energía eléctrica, al índice de actividad económica como proxy del ingreso, el precio del barril de petróleo WTI y a la variable muda. Los diferentes rezagos de cada modelo los detallamos a continuación:

- Residencial 1: Toma como rezagos del proceso AR al rezago 12 solamente y del proceso MA al rezago 1 y al rezago 3.
- Residencial 2: Toma como rezagos del proceso AR al rezago 6; por parte del proceso MA toma el rezago 1, al rezago 6, al rezago 7 y al rezago 12.
- Residencial 3: Toma como rezagos del proceso AR al rezago 6 y 12; por parte del proceso MA toma el rezago 1, 3, 6, 7 y al rezago 12.

En los modelos Residencial 1 y Residencial 2 se atrapa el efecto de estacionalidad que viene en el rezago 12 del proceso AR, además se aprecia que todos poseen un valor p significativamente satisfactorio que se presenta debajo de los coeficientes entre paréntesis.

Tabla 4. Regresiones ARIMAX del consumo eléctrico.

	Residencial 1	Residencial 2	Residencial 3
P	-0,2266 (0,163)	-0,1135 (0,503)	-0,2272 (0,001)
IAE	0,0591 (0,090)	0,0859 (0,008)	0,1380 (0,000)
B	-0,0124 (0,451)	-0,0117 (0,410)	-0,0283 (0,007)
Muda	-0,0003 (0,941)	0,0072 (0,123)	0,0088 (0,000)
Constante	0,0048 (0,000)	0,0043 (0,008)	0,0043 (0,000)
AR			
6		-0,9365 (0,000)	-0,4332 (0,003)
12	0,9442 (0,000)		0,4935 (0,000)
MA			
1	-0,2274 (0,062)	-0,3428 (0,000)	-0,7581 (0,000)
3	-0,2797 (0,016)		-0,4343 (0,001)
6		1,0507 (0,000)	0,6876 (0,000)
7		-0,5634 (0,000)	-0,8102 (0,000)
12	-0,4884 (0,002)	0,5079 (0,000)	0,3241 (0,053)
AIC	-502,51	-502,55	-526,24
BIC	-475,79	-473,15	-491,49

Seleccionaremos la regresión Residencial 3 y empezamos a examinar su correlación serial (i.e. autocorrelación) en los residuos, vamos a testear su autocorrelación mediante el test de Breush-Godfrey, información mostrada en Tabla 6.

Tabla 5. Test de Breush-Godfrey para los residuos.

Breush-Godfrey	
Prob > X²	(0,3159)

En la Tabla 5 mostramos que el nivel de significancia que es de 31,59 por ciento, nos informa que no se rechaza la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación; entonces el test de Breush-Godfrey nos sugiere la ausencia de autocorrelación. Procederemos con el análisis de normalidad de los residuos, usaremos el test de Shapiro-Wilk, además observaremos el comportamiento de la asimetría y curtosis de los residuos por separado como juntos, dicha información se enseña en la Tabla 6.

Tabla 6. Pruebas de normalidad para los residuos

	Asimetría	Curtosis	Prob>X²	Shapiro-Wilk
Residuos	0,2067	2,4933		
	(0,3586)	(0,2444)	(0,3246)	(0,5393)

Si el test es mayor al 10 por ciento de significancia, caemos en la zona de no rechazo de la hipótesis nula, es decir, no tendremos evidencia para rechazar la normalidad, no presencia de curtosis y no presencia de simetría. Entonces las pruebas nos sugiere que existe normalidad en los residuos

Realizamos el último test para estudiar si los residuos se comportan como ruido blanco. Usando el test de Portmanteau mostrado en la Tabla 7, si el valor del estadístico es mayor al 10 por ciento de significancia no rechazamos la hipótesis nula, es decir, no tenemos evidencia suficiente para rechazar un comportamiento de ruido blanco en los residuos.

Tabla 7. Test Portmanteau para los residuos

Residencia	
Estadístico Portmanteau (Q)	33,7689
Prob >X² (40)	(0,7457)

Con un nivel del 74,57 por ciento no rechazar la hipótesis nula, el test nos sugiere que los residuos tienen media cero, varianza constante y covarianza nula. Se puede llegar a la conclusión de que los residuos siguen un comportamiento de ruido blanco. Finalizando nuestros filtros podemos escribir la regresión idónea que luego proyectaremos del consumo de energía eléctrica para clientes residenciales del Ecuador. La regresión queda plantada en la siguiente ecuación.

$$\Delta (\ln Y_t) = 0,0043 - 0,2272 \Delta (\ln P_t) - 0,1380 \Delta (\ln IAE_t) - 0,0283 \Delta (\ln B_t) - 0,0003 \text{ Muda} - 0,4332 \Delta (\ln Y_{(t-6)}) + 0,4935 \Delta (\ln Y_{(t-12)}) + \mu_t - 0,7581 \mu_{(t-1)} - 0,4343 \mu_{(t-3)} + 0,6876 \mu_{(t-6)} - 0,8102 \mu_{(t-7)} + 0,3241 \mu_{(t-6)} . \quad (8)$$

Ya obteniendo toda la información anteriormente mostrada podemos realizar la proyección del consumo de electricidad mostrada en la Figura 3.

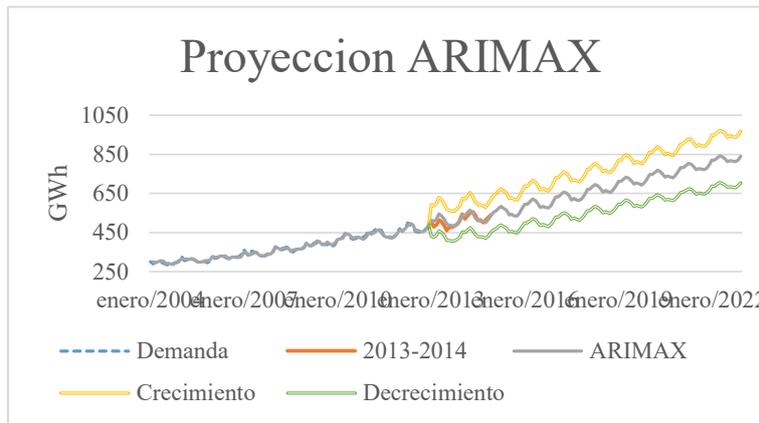


Fig. 3. Proyecciones ARIMAX para el consumo a frecuencia mensual en el periodo 2004-2022

Además, elaboramos una proyección de consumo de electricidad para el caso univariado aplicando metodología ARIMA mostrada en la Figura 4 ilustrativamente.

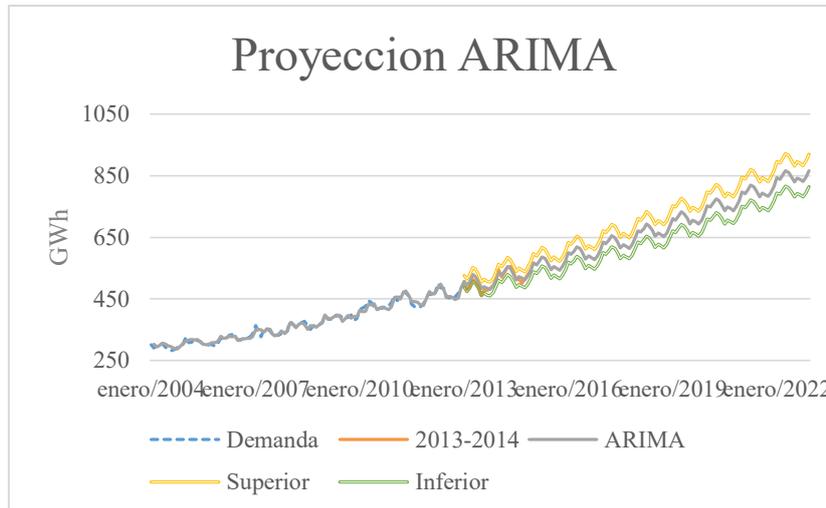


Fig. 4. Proyección ARIMA para el consumo a frecuencia mensual para el periodo 2004-2022

La siguiente ecuación muestra la regresión del modelo de predicción univariado aplicando metodología ARIMA.

$$\Delta (\ln Y_t) = 0,0048 - 0,4592 \Delta (\ln Y_{(t-6)}) + 0,4972 \Delta (\ln Y_{(t-12)}) + \mu_t - 0,5266 \mu_{(t-1)} - 0,2448 \mu_{(t-3)} + 0,5863 \mu_{(t-6)} - 0,5708 \mu_{(t-7)} \quad (9)$$

Finalizando la proyección ARIMAX para el consumo de electricidad, probaremos que tan eficiente es el modelo y que tan eficaz son las proyecciones. Esto lo haremos cuantificando el error que se comete, la correlación que tienen las observaciones y el nivel de ajuste de la estimación a los valores del consumo de energía; dicha información se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Estadísticas de ajustes metodología ARIMAX

R ²	Proyectado		Estimados		Total	
	MAPE	Correlación	MAPE	Correlación	MAPE	Correlación
98.68%	2.68%	80.87%	1.52%	99.34%	1.74%	99.25%

A la vez revisamos todos los test que sugieran la eficiencia de la estimación para las proyecciones ARIMA, información mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9. Estadísticas de ajustes metodología ARIMA

R ²	Proyectado		Estimados		Total	
	MAPE	Correlación	MAPE	Correlación	MAPE	Correlación
98.30%	1.73%	94.28%	1.68%	99.16%	1.69%	99.41%

6 Discusión y Conclusiones

En esta sección entregamos conclusiones de la investigación, interpretaremos además las elasticidades que entrega el modelo ARIMAX, compararemos las dos metodologías usadas para generar las proyecciones, implicancia para la política económica.

6.1 Elasticidades

Capturamos las variaciones al corto plazo que va a sufrir el consumo de energía eléctrica. Para el sector residencial la elasticidad toma un valor de -0,22 que se interpreta que por cada aumento de precio medio en 1 por ciento, el consumo de energía eléctrica decrece en 0,22 por ciento y es significativo estadísticamente. Bajo el esquema de la teoría del consumidor, la señal de precio es efectiva. El coeficiente del índice de actividad económica como variable proxy del ingreso, tiene un valor

positivo siendo de 0,13. Por cada aumento del 1 por ciento en el índice, el consumo de energía eléctrica aumenta en un 0,13 por ciento.

Se muestra que los consumidores residenciales son más sensibles a variaciones en el precio medio de electricidad, con un valor de -0,22, que al ingreso, con un valor de 0,13. Si se quiere realizar variaciones positivas al consumo de electricidad para el corto plazo, más efectivo va ser una estrategia de disminución de precios que incentivar políticas que apunten al crecimiento del ingreso de los hogares. Se nos reveló que la elasticidad precio tiene un valor negativo, el esperado según la teoría económica y que es inelástica ante cambios del precio; de la elasticidad ingreso se observa que el valor es positivo conforme a la teoría y también es inelástica.

6.2 ARIMA y ARIMAX

La ventaja de la metodología ARIMA es el hecho que son suficientes los datos de la variable endógena para su ejecución y proyección. Pero se presenta la desventaja de no poder adicionar los efectos de factores exógenos, por lo que su exactitud se reduce. Esto lo superamos con la metodología ARIMAX, donde mezcla las perturbaciones de la serie de tiempo más efectos de variables explicativas del consumo de electricidad.

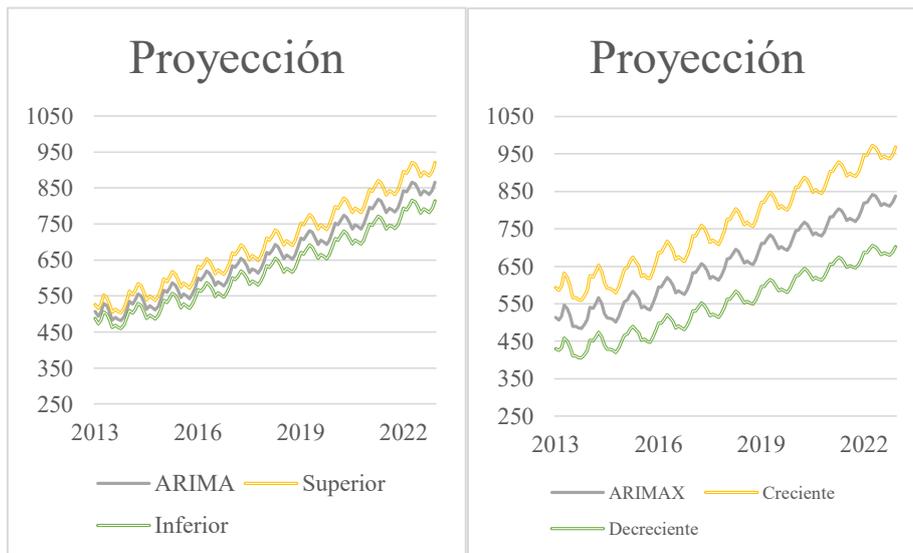


Fig. 5. Comparación de proyecciones para las metodologías ARIMA y ARIMAX

En la Figura 5 podemos realizar una comparación gráfica de las proyecciones del consumo de electricidad para el caso univariado como para el multivariado. Apreciamos que existe mayor ruido en las proyecciones ARIMAX, por el motivo que para generar estas proyecciones se tiene que recurrir a predicciones de las variables exógenas, incrementando la incertidumbre en las proyecciones ya que se traslada parte del error de estas predicciones a nuestra proyección. Dejamos evidencia que más

pesa la relación inversa de los precios que la relación directa de los ingresos en el consumo de electricidad para la metodología ARIMAX, ya que si introducimos variables exógenas que explican el consumo de electricidad residencial en Ecuador las proyecciones ARIMAX, con respecto a la proyección ARIMA, son más bajas.

La tasa de crecimiento medio anual del consumo de energía eléctrica para el periodo 2013-2022 a base de los modelos planteados es de 5,77 por ciento (ARIMAX) y de 6,09 por ciento (ARIMA). Mejor ajuste de las estimaciones (valores entre enero 2003 hasta diciembre 2012) respecto a valores reales posee la metodología ARIMAX con un R^2 y un coeficiente de correlación de 98,6 por ciento y 99,3 por ciento respectivamente. A cambio para las proyecciones (valores entre enero 2013 hasta diciembre 2014) respecto a valores reales, la metodología ARIMA se sobrepone con mayor correlación y menor error de 94,2 por ciento y 1,7 por ciento respectivamente. Juntando las estimaciones y los valores proyectados (valores entre enero 2003 hasta diciembre 2014 la metodología) ARIMA es mejor que la metodología ARIMAX para la proyección del consumo de energía eléctrica para clientes residenciales, esto porque los efectos de la variable exógena no son inmediatos, y quedan capturados por los rezagos de Y_{t-j} , además debemos señalar que la diferencia de valor radica en el segundo dígito decimal el cual puede ser considerado como pequeño.

6.3 Implicancias políticas

Las conclusiones aparte de ser evidencia empírica respecto a variables relacionadas con el consumo de energía eléctrica para clientes residenciales, tiene implicancias en lo relativo a la necesidad que la ARCONEL implemente estrategias más efectivas en materia de política energética.

En lo que se refiere a los precios medios, si el gobierno tiene como objetivo impulsar el ahorro de energía eléctrica, puede generar estrategias enfocadas al precio de la electricidad, por ejemplo se puede cobrar un mayor precio por kW consumido, si éste es alto provocará que los clientes residenciales tengan incentivos a consumir menos. Para motivar al ahorro de energía eléctrica el Estado enfatiza esfuerzos al incentivar el uso del foco ahorrador donde se ha entregado un aproximado de 16 millones de bombillas, cada familia recibe gratuitamente 4 focos ahorradores. Lo que genera que las familias ocupen la misma cantidad de iluminación, existiendo una reducción en el consumo eléctrico lo que provocará que ese excedente de energía eléctrica pueda ser ocupado para productividad en otros sectores, sea el industrial lo que aumenta el desempeño de estas industrias y por ende el beneficio del Estado; o ese excedente pueda ser energía eléctrica que se exporte.

Por parte del ingreso, medido a través del índice de actividad económica, si los diferentes sectores productivos del Ecuador varían su actividad al alza, esto debido a que puede haber: mayor inversión, más facilidades de producción por parte del Estado, mejoras tecnológicas, etc. Esto hace que el ingreso de las familias aumenten, entonces las rectas presupuestarias de éstas se desplace a la derecha (aumento)

facilitando mayor adquisición de equipos que usan electricidad aumentando el consumo energético de electricidad. Sin embargo, la elasticidad ingreso es pequeña y la vida útil de electrodomésticos es de cinco años, por lo tanto el consumo de energía por este medio tendería a ser fijo. Si el ingreso aumenta, crecería la demanda de electrodomésticos lo que aumente el consumo de electricidad pero no a los valores deseados, al menos en el corto plazo; puede ser posible que, a largo plazo, que más consumidores adquieran más artefactos eléctricos y así aumente el consumo de electricidad.

Ecuador quiere dejar de ser un país importador de electricidad para transformarse en un país exportador de esta energía. Actualmente el país está sufriendo un cambio en su matriz productiva donde se quiere dejar a un lado el petróleo como insumo de la producción de electricidad, y pasar a utilizar otras fuentes de generación más sostenibles a largo plazo. Ecuador es un país petrolero, donde el 70 por ciento de barriles generados en el país son destinados a la exportación. Para dejar la dependencia del petróleo, en la producción de electricidad, se está construyendo nuevas hidroeléctricas que remplazará esta generación de energía, además se usan otras fuentes como la solar, eólica y de biomasa.

Para el año 2017 Ecuador contará con 7 nuevas hidroeléctricas permitiendo que el 90 por ciento de energía eléctrica provenga de fuentes renovables. Pero la construcción de una hidroeléctrica trae consigo varios problemas en el entorno como:

- Pérdida de la continuidad del río (río arriba con río abajo)
- Deforestación relacionada por la apertura de vías para la construcción de embalses
- Retención de sedimento

La construcción de una hidroeléctrica en ríos pequeños puede generar la extinción de especies, este caso se da en la Central Hidroeléctrica Topo que toma recursos hídricos del río Topo en Tungurahua donde habita la especie endémica *Myriocolea irrorata*, la cual crece únicamente en ríos pequeños como el río Topo, donde está en peligro su existencia. El río Jondachi estaba en un buen estado, la cual se convirtió en un destino turístico para el desarrollo de la comunidad. El nivel de turismo depende del flujo natural del río, ya que se practica deportes como el kayak y rafting, este nivel de flujo se ve perjudicado por la Central Hidroeléctrica La Merced ya que altera el caudal ecológico del río, por ende sus ingresos provenientes del turismo.

Coca Codo Sinclair es la hidroeléctrica más importante que entrará en funcionamiento en el 2017 sobre el río Coca, pero igualmente es la que mayor impacto ambiental generará. La hidroeléctrica generará 1500 MW si el caudal del río se encuentre al cien por ciento, usando 222 metros cúbicos de agua por segundo, pero típicamente el río tiene entre 80 y 100 metros cúbicos por segundo. Además acaparando este caudal, la hidroeléctrica amenazaré una cascada emblemática del Ecuador ubicada 19 kilómetros río abajo de nombre Cascada San Rafael dejándola casi seca. La cascada San Rafael con una altura de 146 metros forma parte de la Reserva Biológica Sumaco de la UNESCO con gran variedad de flora y fauna. La vegetación se encuentra alterada por el avance de la colonización y deforestación, se

ha generado la desaparición y fragmentación de áreas boscosas ocasionando pérdidas del hábitat de especies de flora silvestre.

6.4 Conclusiones

La investigación se enfoca en el sector eléctrico ecuatoriano para clientes residenciales, debido a su repercusión socioeconómica y por su gran participación que es de 34,7 por ciento al consumo de electricidad ecuatoriano.

Una gran fortaleza que presenta esta investigación sobre las proyecciones de consumo eléctrico es su marcada estacionalidad. Para los agentes productores de electricidad conocer en qué mes del año se consume más o menos electricidad es primordial para dar mantenimientos a máquinas. Además se aprecia el nivel de tendencia que va a sufrir la energía, por ello estos mismos agentes pueden tomar mejores decisiones de adquirir generadores sustentables y renovables.

La muestra de datos de esta investigación toma el efecto de la crisis económica que ocurrió en el año 2008. Dicha crisis afectó a grandes instituciones financieras fuera de Latinoamérica, en nuestra región (Latinoamérica) no existió tanto impacto en instituciones financieras pero se vio reflejada en los precios del petróleo donde paulatinamente al largo plazo se estabilizó. Ya que las variaciones del precio del petróleo WTI se estabilizaron los cambios en el consumo de energía eléctrica para hogares del Ecuador fueron relativamente bajos, información que se refleja en la alta inelasticidad de demanda (0,02) a corto plazo. Dada la estructura económica del Ecuador, la cual es dependiente del petróleo para la producción en diferentes sectores estratégicos como la subsistencia del país.

Puede que exista una alta correlación entre el precio del petróleo WTI con el índice de actividad económica, lo que se traduciría para el modelo en un problema de multicolinealidad. El coeficiente de correlación de estas dos variables se ve que es positivo pero a un nivel del 29 por ciento, existe correlación pero no fuerte.

La incorporación de variables muda tuvo como objetivo mejorar la normalidad de los residuos, presentando un nivel satisfactorio de significancia estadística para realizar las proyecciones. Las variables muda no eliminan los cambios estructurales que sufre el precio medio de energía eléctrica para clientes residenciales, es más incorporan estos cambios.

La proyección del consumo es una actividad importante para los entes participantes del sector eléctrico. Si se sobreestima la demanda se generará sobrecostos operativos en el despacho energético, por el contrario una subestimación producirá una reducción de electricidad entregada provocando desabastecimientos e inestabilidad energética. Desde que se cuente con proyecciones adecuadas del consumo de energía eléctrica se logrará la operatividad del sector eléctrico eficientemente, garantizando su óptima generación energética. Si el consumo de energía eléctrica aumenta y los

agentes proveedores de electricidad no pueden responder a estas variaciones, puede existir consecuencias como las siguientes:

- Desmejoramiento del nivel de vida de la población.
- Perdidas en sectores: Comercial, Agro, Extracción, Industrial. Esto provocará disminución de fuentes de trabajo.
- Inseguridad pública, por falta de iluminación en vías.
- Complicaciones con el tránsito, falta de señalización.
- Afecciones a los sistemas de telecomunicación.
- Perdidas de vida, personas conectadas a unidades de salud.

Por ello conocer como variará en el futuro los posibles niveles del consumo de electricidad permitirá a las entidades y empresas del sector eléctrico adelantarse a estas fluctuaciones y poder realizar los ajustes y correctivos necesarios para cubrir la demanda. He ahí la importancia de esta investigación.

A través del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal se ha logrado dotar de electricidad a zonas con menores recursos, generando un 97 por ciento de cobertura de servicio eléctrico en todo el país. Es un gran nivel de cobertura pero debe venir acompañada de un mantenimiento continuo en las redes de transmisión eléctrica, transformadores, y generadoras de energía; acto que no se hace ya que varios pueblos de Ecuador que cuenta con electricidad tienen aún inconvenientes con la recepción de la energía eléctrica.

Para enfrentar una crisis energética en Ecuador se necesita que el sector eléctrico llegue a su estabilidad y esto alcanza desde un enfoque integral microeconómico, donde la solución tenga como base un seguimiento econométrico que deje en evidencia la conducta de las variables que participen en la problemática. En esta investigación entregamos un aporte a esta dirección.

6.5 Limitaciones y recomendaciones

Los modelos anteriormente presentados son capaces de generar proyecciones al consumo de clientes residenciales del Ecuador, pero no hemos evaluado los demás sectores, por ello, como recomendaciones a futuros trabajos se sugiere efectuar la proyección del consumo de energía eléctrica a los sectores industrial, comercial, otros y alumbrado público del Ecuador. Con dicha información se puede generar políticas más especializadas a cada grupo de consumidores que estén encaminados al ahorro de energía.

Con el fin de reajustar las proyecciones, se recomienda una continua actualización de las observaciones. Incorporando datos recientes para el consumo de energía eléctrica y para las variables explicativas. Recordar que esta metodología depende de la veracidad de los datos, por ello se debe estar seguro de la confiabilidad y consistencia de la procedencia de los datos.

En futuras proyecciones del consumo de energía eléctrica se aconseja utilizar más variables explicativas que consideren relación con el consumo, a la vez que posean

significancia estadística a las proyecciones. Para el estudio hubiese sido de gran aporte captar la relación que tiene el clima de la costa y sierra en el consumo de electricidad a clientes residenciales del Ecuador. El uso de la variable muda incorpora el cambio estructural; para esta investigación se hace referencia al efecto de la crisis financiera. Por ende si se desea incorporar variables mudas a futuros modelos, se deberá justificar correctamente su motivo.

Finalmente una de las limitantes del estudio, es que se entregaron elasticidades precio e ingreso de la demanda a corto plazo. Se sugiere presentar una metodología que pueda capturar las elasticidades precio e ingreso de la demanda a largo plazo.

Referencias

1. Athukorala, W., Wilson, C.: Estimating short and long-term residential demand for electricity: new evidence from Sri Lanka. *Energy Economic* 32 (1), 34 a 40 (2010)
2. Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/>
3. Benavente, J. M., Galetovic, A. Sanhueza, R., Serra, P.: Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: A Doña Juanita le Importa el Precio. Universidad de Chile, Santiago (2004)
4. Consejo Nacional de Electricidad del Ecuador: Plan de electrificación del Ecuador, 2004-2013. Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador (2004).
5. Dergiades, T., Tsoulfidis, L.: Estimating residential demand for electricity in the United States, 1965-2006. *Energy Economic* 30, 2722 a 2730 (2008)
6. Díaz, R.: Estudio Sobre la Factibilidad de la Implementación de un Modelo de Comprador Único o Monopsonio en el Mercado Eléctrico Mayorista de Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Quito (2009)
7. Fernández, L.: Modelos Avanzados Para La Predicción A Corto Plazo De La Producción Eléctrica En Parques Eólicos. Universidad de la Rioja, La Rioja (2007)
8. Independent Statistics & Analysis U.S. Energy Information, <https://www.eia.gov/>
9. Jiménez, N.: La Nueva Matriz Energética Del Ecuador al 2020 Y Su Relación Con La Ing. Electromecánica. Vinculación Con La Colectividad No. 1, 34 a 35 (2011)
10. Larrea, C.: ¿Es Sustentable la Política energética en el Ecuador?. Universidad Andina Simon Bolívar, Quito (2012)
11. Murillo, J., Trejos, A., Carvajal, P.: Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica utilizando modelos de series de tiempo. *Scientia et Technica* No. 23, 37 a 42 (2003)