



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Programa de Magíster en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente

Proyección de series de tiempo para el consumo de la energía eléctrica a clientes residenciales en Ecuador

Manuel Aurelio Chong Fuentes
CONCEPCIÓN-CHILE
2016

Tesis para optar al grado de Magister en Economía de Recursos Naturales y del
Medio Ambiente

Profesor Guía: Manuel Estay Montecinos
Profesor Co-Guía: Renato Aguilar Broughton
Departamento de Economía,
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Universidad de Concepción

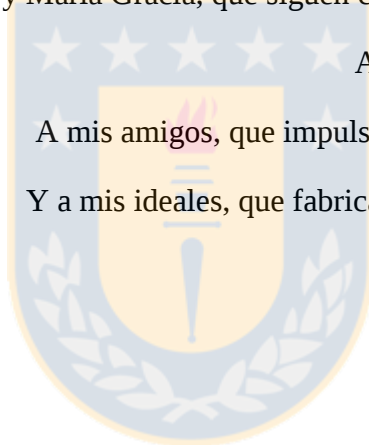
A Dios, que orienta cada uno de mis actos.

A Manuel, Grace, Maríajosé y María Gracia, que siguen concediéndome su infinito amor.

A Natalia, por su cariño y apoyo.

A mis amigos, que impulsan a superarme constantemente.

Y a mis ideales, que fabrican el ser humano que ahora soy.



Agradecimiento

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, por la beca estudiantil y confianza entregadas, que son bases fundamentales para fortalecer mi formación académica y profesional.

Al Prof. Renato Aguilar (Ph.D.), por su gran disposición y paciencia, otorgándome enseñanzas académicas y siendo un soporte que ayuda a mejorar esta investigación. A mi comisión de tesis por su comentarios que fueron de gran provecho. A la Sra. Dominga Sandoval por su permanente disponibilidad profesional.

Al programa Magister en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente y todos sus profesionales, que brindaron bases para convertirme en un profesional de excelencia. Finalmente agradezco a todas las instituciones por la información entregada.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo 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. Series de tiempo fue la técnica utilizada mediante la construcción de un modelo Autoregresivo Integrado de Media Móvil (ARIMA) para el caso univariado y un modelo Autoregresivo Integrado de Media Móvil con variables Exógenas (ARIMAX) para el caso multivariado.

Las variables explicativas que son significativas al momento de estudiar la evolución del consumo de electricidad fueron: los precios medios de electricidad para los clientes residenciales, el ingreso medido a través del Índice de Actividad Económica y los precios del barril de petróleo West Texas Intermediate. 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, los coeficientes correlación y los errores medio absoluto que se cometen en las estimaciones y proyecciones para ambos casos.

La proyección del consumo es una actividad importante para los entes participantes del sector eléctrico. Si se sobreestima la demanda se genera sobrecostos operativos del despacho energético, por el contrario, una subestimación produce una reducción de electricidad entregada provocando desabastecimientos. Para el sector eléctrico, el tener información anticipada del consumo eléctrico del mercado ayuda al generador de energía saber cuánta potencia necesita para satisfacer la demanda, dar mantenimiento a elementos del sistema, optimizar su oferta de energía y así maximizar su rentabilidad.

Abstract

This research shows monthly forecasts electricity consumption for the residential sector of Ecuador from 2013 until 2022. Time series techniques are used in this research, by building an Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model for the univariate case and an Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables (ARIMAX) model for the multivariate case.

The average prices of electricity for residential consumer, the *Índice de Actividad Económica* as proxy of income and the prices of a barrel of West Texas Intermediate oil are the significant explanatory variables to explain the evolution of electricity consumption. The price elasticity and the income elasticity of demand were estimated to be -0,22 and 0,13 respectively. Also the research show the coefficient of determination, the correlation coefficient and the mean absolute error of the estimated values and the forecast values.

The consumption forecast is an important activity for the agents in the electricity sector. If consumption is overestimated then operational cost of energy. On the other hand, increased consumption underestimation generates a reduction of offered electricity causing shortages. For the electricity sector, to have early information of electricity market consumption help to know how much power is needed to answer the demand, optimize the electricity supply and maximize profits.

Tabla de Contenido

Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	ix
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 La energía eléctrica en Ecuador	3
1.3 Motivación y Justificación	7
1.4 Objetivos e Hipótesis.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Contenido de la tesis.....	8
Capítulo 2: Estado del Arte	10
2.1 Estudios internacionales	10
2.2 Estudios en países de América Latina	11
2.2.1 Chile.....	11
2.2.2 Colombia	11
2.2.3 Argentina	11
2.3 Estudios en Ecuador.....	12
2.4 Resumen de la revisión literaria	14
Capítulo 3: Metodología.....	15
3.1 Procesos autorregresivos de orden p	15
3.2 Proceso de promedios móviles de orden q	15
3.3 Procesos ARIMA.....	16
3.3.1 Procedimiento de modelo ARIMA	17
3.4 Proceso ARIMAX.....	18
3.4.1 Procedimiento del modelo ARMAX	20
3.5 Modelo Teórico y Elasticidades	22
3.6 Evaluación del error de predicción.....	24
3.7 Proyecciones.....	24
3.8 Ventajas de los modelos ARIMA & ARIMAX.....	25

Capítulo 4: Análisis de los Datos	27
4.1 Análisis de datos	27
4.1.1 Característica del consumo de energía eléctrica	27
4.1.2 Evolución de los precios medios de electricidad, fuel oil y barril de petróleo.....	28
4.1.3 IAE.....	29
4.1.4 Número de clientes y Caudal río Amaluza	30
4.1.5 Proyecciones	31
4.2 Lista de variables.....	31
Capítulo 5: Resultados	32
5.1 Modelo ARIMA para el consumo residencial de electricidad.....	32
5.1.1 Modelación	33
5.1.2 Comprobación.....	35
5.2 Modelo ARIMAX para el consumo residencial de electricidad.....	39
5.2.1 Modelación	40
5.2.2 Comprobación.....	42
Capítulo 6: Discusión y Conclusiones	47
6.1 Elasticidades	47
6.2 ARIMA y ARIMAX.....	48
6.3 Implicaciones para la política económica.....	49
6.4 Conclusiones	51
6.5 Recomendaciones	53
Referencias Bibliográficas	54
Anexo	56

Índice de Figuras

Figura 1.1	10 primeros países productores de energía eléctrica para el 2014 medida en TWh ..	2
Figura 1.2	10 primeros países consumidores per cápita de electricidad para el 2014 medido en MWh.....	2
Figura 1.3	Evolución de la capacidad efectiva medida en MW a frecuencia anual	5
Figura 1.4	Caudal medio en frecuencia mensual del río Amaluza medido en m^3/s	5
Figura 1.5	Consumo de electricidad a frecuencia anual para cada categoría de clientes medido en GWh	6
Figura 1.6	Precio medio a frecuencia anual de electricidad para cada categoría medido en ¢/kWh	7
Figura 2.1	Participación del consumo eléctrico para cada categoría de clientes proyectado y real para los años 2004 y 2012	13
Figura 3.1	Proceso para la modelación ARIMA.....	18
Figura 3.2	Proceso para la modelación ARIMAX.....	21
Figura 4.1	Función de densidad de probabilidad para el consumo de electricidad para clientes residenciales 2004-2012	28
Figura 4.2	Evolución del precio en el periodo 2004-2012 a frecuencia mensual	29
Figura 4.3	Evolución del IAE en el periodo 2004-2012 a frecuencia mensual.....	30
Figura 5.1	Consumo de energía eléctrica medido en GWh a frecuencia mensual del periodo 2004-2012	32
Figura 5.2	Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación del consumo eléctrico residencial	34
Figura 5.3	Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación de los residuos del consumo eléctrico residencial	36
Figura 5.4	Diagrama de densidad de los residuos	36
Figura 5.5	Proyección ARIMA del consumo eléctrico a frecuencia mensual para el periodo 2004-2022	38
Figura 5.6	Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación de los residuos del consumo eléctrico residencial	42
Figura 5.7	Diagrama de densidad de los residuos	44
Figura 5.8	Diagrama de Bartlett para los residuos	45
Figura 5.9	Proyecciones del modelo ARIMAX para el consumo a frecuencia mensual para el periodo 2004-2022.....	46
Figura 6.1	Comparación de proyecciones para las metodologías ARIMA y ARIMAX	48

Índice de Tablas

Tabla 1.1	Potencia eléctrica efectiva para el año 2013 medido en MW	4
Tabla 2.1	Resumen de trabajos investigados	14
Tabla 4.1	Estadística descriptiva de las variables a frecuencia mensual	27
Tabla 4.2	Evolución del número de clientes residenciales y caudal del río Amaluza a frecuencia anual	30
Tabla 4.3	Tasas de crecimiento anual para el precio medio de electricidad, IAE y precio barril WTI en el periodo 2013-2022	31
Tabla 5.1	Test de Dickey-Fuller	33
Tabla 5.2	Test de Dickey-Fuller en primera diferencia	33
Tabla 5.3	Regresiones ARIMA del consumo eléctrico	35
Tabla 5.4	Test de Breush-Godfrey para los residuos	35
Tabla 5.5	Test de normalidad para los residuos	37
Tabla 5.6	Estadístico de ajustes	38
Tabla 5.7	Test de Granger	39
Tabla 5.8	Regresiones ARIMAX del consumo eléctrico	41
Tabla 5.9	Test de Breush-Godfrey para los residuos	42
Tabla 5.10	Regresiones ARIMAX del consumo eléctrico	43
Tabla 5.11	Test de normalidad para los residuos	43
Tabla 5.12	Test Portmanteau para los residuos	44
Tabla 5.13	Estadístico de ajustes	46
Tabla A.1	Proyecciones del consumo eléctrico para el periodo 2013-2022 modelo ARIMA en kWh	56
Tabla A.2	Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Decreciente para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh	56
Tabla A.3	Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Medio para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh	57
Tabla A.4	Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Crecimiento para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh	57

Capítulo 1: Introducción

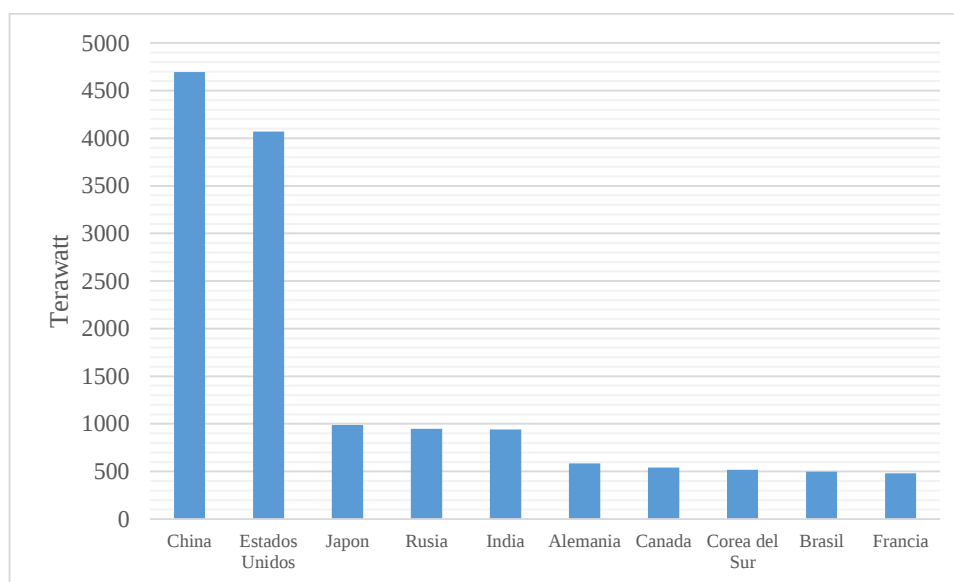
1.1 Introducción

La predicción de acontecimientos ha encantado al ser humano desde tiempos antiguos. La proyección de acontecimientos necesita un análisis minucioso de eventos pasados y las relaciones existentes entre ellos para de ahí intentar extrapolar futuros acontecimientos. Los historiadores mencionan que el primer hombre capaz de realizar una predicción fundamentada en base científicas fue Thales de Mileto, quien fue capaz de predecir un eclipse total de sol ocurrido el 28 de mayo del 585 A.C. Thales se basó en series cronológicas de eclipses que habían sido registradas por los astrónomos egipcios en las que descubrió un patrón que se repetía en el tiempo.

Con el transcurso del tiempo es evidente el desarrollo de nuevas tecnologías que ha mejorado y ampliado en diferentes áreas la predicción de eventos, ya sea con fines científicos o económicos. Hoy en día se cuenta, en la mayoría de los sectores productivos, con bases de datos históricas que almacenan información valiosa sobre su actividad. Desde el invento de la bombilla eléctrica por parte de Tomas Alva Edison 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, desde aquí la energía eléctrica empezó a ser demandada por personas que necesitan fuentes de iluminación.

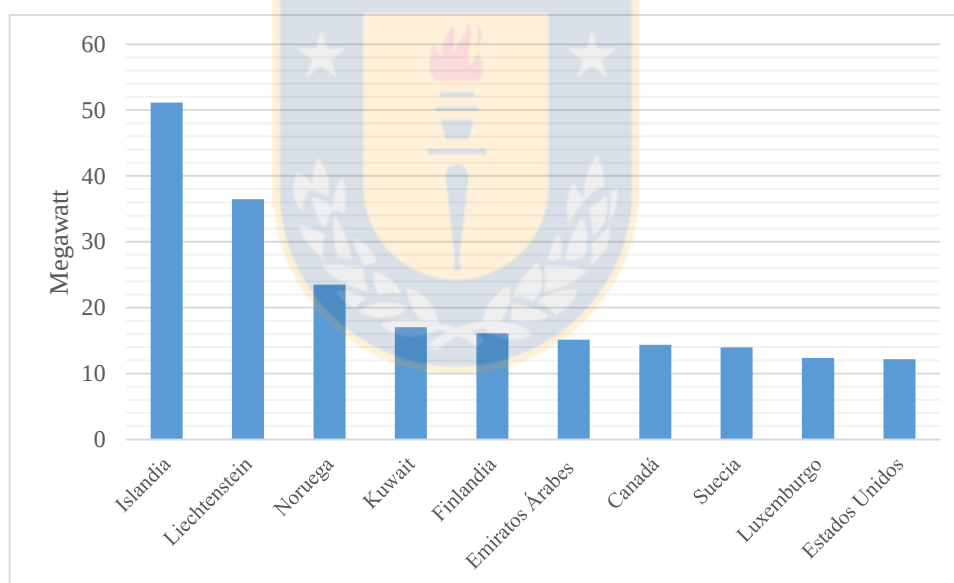
El consumo de energía eléctrica es un factor importante para las sociedades industrializadas, siendo un insumo esencial para diferentes sectores como el industrial, comercial y residencial. La demanda de electricidad ha venido creciendo a lo largo de las últimas décadas, por ende la generación de esta comenzó a ser una prioridad para varios países los cuales empezaron a construir centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares entre otras fuentes de producción. Para el año 2014 a nivel mundial hay una generación de energía eléctrica de 25300 TW (terawatt). En la Figura 1.1 se puede observar los principales países productores de energía eléctrica. Queda en evidencia que los cuatros primeros países generan aproximadamente el 51,2 por ciento de electricidad del mundo, según información tomada del banco mundial. Adicionalmente presentamos en la Figura 1.2 una comparación de los principales países consumidores de energía eléctrica en MW (megawatt) por habitante.

Figura 1.1 10 primeros países productores de energía eléctrica para el 2014 medida en TWh



Fuente: Elaboración propia basada en información del International Energy Agency

Figura 1.2 10 primeros países consumidores per cápita de electricidad para el 2014 medido en MWh



Fuente: Elaboración propia basada en información del International Energy Agency

Se aprecia que existen diferencias en los países participantes de las dos figuras anteriores. Para la Figura 1.2 son países pequeños quienes ocupan los primeros lugares de consumo per cápita de electricidad, estos países poseen una alta dotación de energía eléctrica renovable como es el caso de Islandia que genera energía eléctrica de geotérmicas e hidroeléctricas; de sus 18116 GWh (gigawatt hora) el cien por ciento de esta electricidad viene de fuentes renovables. Otros países se presentan en este cuadro por su alto nivel tecnológico como es el caso de Suecia.

Ecuador a nivel global se ubica en el puesto 72 de un total de 136 países a lo referente de producción de energía eléctrica con 20266 GWh; teniendo una participación global de 0,09 por

ciento. El reporte de competitividad global 2013-2014 ubico a Ecuador en el puesto no. 84 de un total de 148 países sobre la calidad de energía eléctrica evaluado en 4,5 sobre 7; colocándose justamente en la media de esta categoría. En el 2014 Ecuador se colocó en el puesto 109 de un total de 193 países sobre el consumo eléctrico per cápita según la Agencia Central de Inteligencia de Estados Unidos. La demanda de electricidad en Ecuador ha crecido en la última década llegando a consumir un 53 por ciento más que hace diez años.

Para realizar una debida proyección vamos a efectuar un análisis detallado sobre las observaciones pasadas más la relación que hay entre ellas y así proyectar eventos. *“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 la bases del desarrollo de modelos de predicción”*. Ver [Férrández 2007, p. 1].

Por dichas razones nuestro trabajo de investigación también se centra en usar un método de modelación multivariantes que disminuye el error de pronóstico con respecto a la demanda real; además tomar en cuenta las variables con las que se relaciona, tales como: Índice de la Actividad Económica (IAE)¹, Precio de barril de petróleo West Texas Intermediate (WTI), etc; que tienen relación con el consumo de electricidad ayudando a bajar la incertidumbre de los modelos. Igualmente, cualquier pronóstico no se ajustará perfectamente a lo real debido a las incertidumbres de los factores que influyen en este mercado. *“...Existen diferentes modelos que podrían ser adecuados para representar la dinámica de cada serie, pero no existen suficientes evidencias empíricas o teóricas que permitan seleccionar a priori alguno de ellos”*. Ver [Velazques et al. 2008, p. 395]

1.2 La energía eléctrica en Ecuador

Para saber la situación de la energía eléctrica en el Ecuador, podemos recurrir a datos oficiales que son proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). Presentaremos los principales indicadores del comportamiento del sector eléctrico ecuatoriano más la evolución que ha sufrido en los últimos años.

Conforme a la Tabla 1.1, a diciembre del 2013 el porcentaje de participación en el mercado eléctrico del S.N.I. fue del 87 por ciento², mientras que el de los Sistemas no Incorporados fue del 13 por ciento³. A nivel nacional, la participación sobre la generación de energía por parte de las termoeléctricas fue del 49,6 por ciento, de las hidroeléctricas fue de 46,1 por ciento, en tanto que el 1,5 por ciento correspondió a energías renovables no convencionales.

Dado una alta sequía, bajos niveles de importación de electricidad de Colombia, incumplimientos de obras planificadas y mayor consumo energético en Octubre del 2009, se originó una de las más

¹ Mide el desempeño económico-fiscal de los sectores productivos de la economía nacional, a través del tiempo; caracterizando a cada mes calendario en términos de su crecimiento histórico promedio y del comportamiento medio de los últimos doce meses anteriores al de referencia.

² Sistema/ Nacional Interconectado: Sistema integrado por elementos del sistema eléctrico, el cual permite la producción y transferencia entre centros de generación, centros de consumo y nodos internacionales.

³ Aquel sistema eléctrico que no está conectado al S.N.I.

grandes crisis energéticas en los últimos años lo que causó racionamientos eléctricos en todo el país. Esto hizo necesario tomar medidas de compensación mediante la construcción de siete nuevas hidroeléctricas, para aumentar la generación de energía eléctrica al corto plazo que satisfaga la creciente demanda y dejara a un lado la dependencia de la importación de electricidad. La generación de electricidad procedente de fuentes de energía renovables en el país es menor al 2 por ciento lo que representa un incipiente desarrollo en este tipo de energía, la fuente de biomasa es proveniente de la combustión del bagazo de la caña de azúcar utilizado por diferentes ingenios. Para el año 2013 las interconexiones por parte de Colombia y Perú contribuyeron con 543,19 MW y 119,15 MW respectivamente.

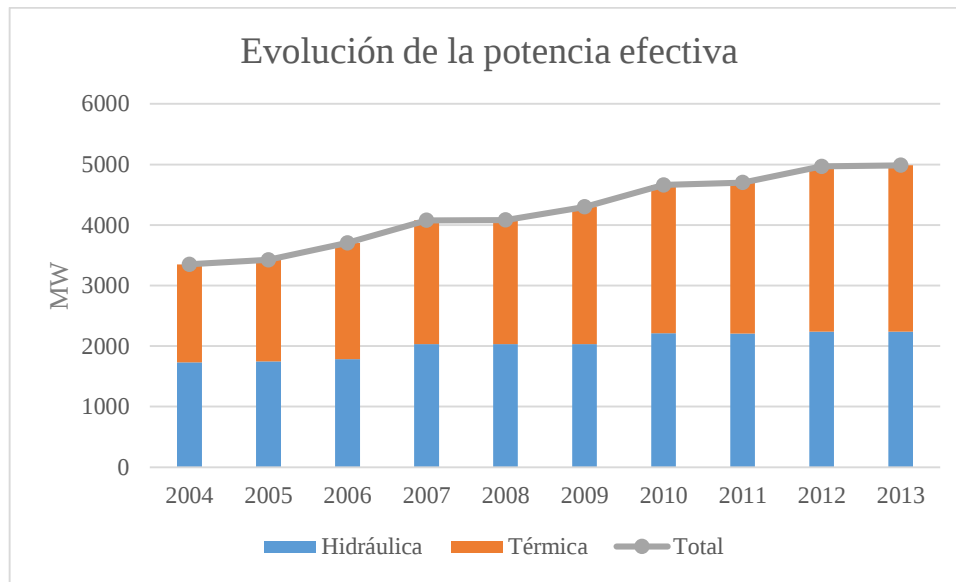
Tabla 1.1 Potencia eléctrica efectiva para el año 2013 medido en MW

Sistema	Tipo de Central	Potencia Efectiva (MW)	Porcentual (%)
S.N.I.	Eólica	53,25	0,3
	Hidráulica	11021,26	53,0
	Solar	3,10	0,0
	Térmica	8776,43	42,2
	Biomasa	295,79	1,4
	Interconexión	662,34	3,2
Total S.N.I.		20812,17	100,0
No Incorporado	Eólica	3,45	0,1
	Térmica	3089,00	99,3
	Hidráulica	17,56	0,6
	Solar	0,56	0,0
Total No Incorporado		3110,57	100,0
Total		23922,74	

Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

En la Figura 1.3 se muestra la evolución de la potencia efectiva del SIN del Ecuador a frecuencia anual para el periodo 2004-2013, se aprecia un incremento de 22,6 por ciento de la potencia hidráulica y de 41,1 por ciento de la potencia térmicas.

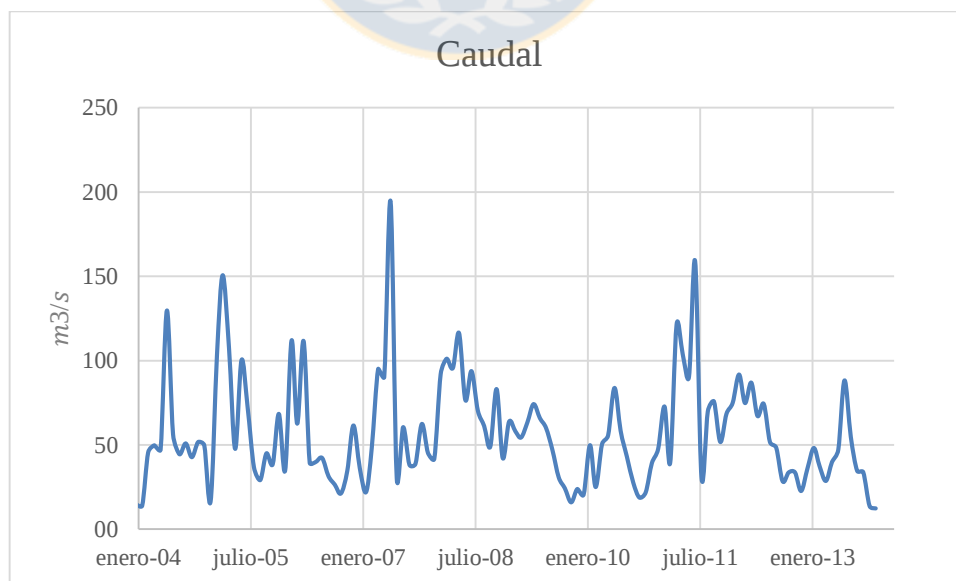
Figura 1.3 Evolución de la capacidad efectiva medida en MW a frecuencia anual



Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

En la vertiente amazónica que atraviesa a Ecuador se ubica las principales centrales hidroeléctricas. 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 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. La central hidroeléctrica más grande que tiene Ecuador es la Central Hidroeléctrica Paute, que tiene una potencia de 1100 MW. Casi cuatro veces más potencia que la segunda hidroeléctrica importante del país (San Francisco con 230 MW).

Figura 1.4 Caudal medio en frecuencia mensual del río Amaluza medido en m^3/s

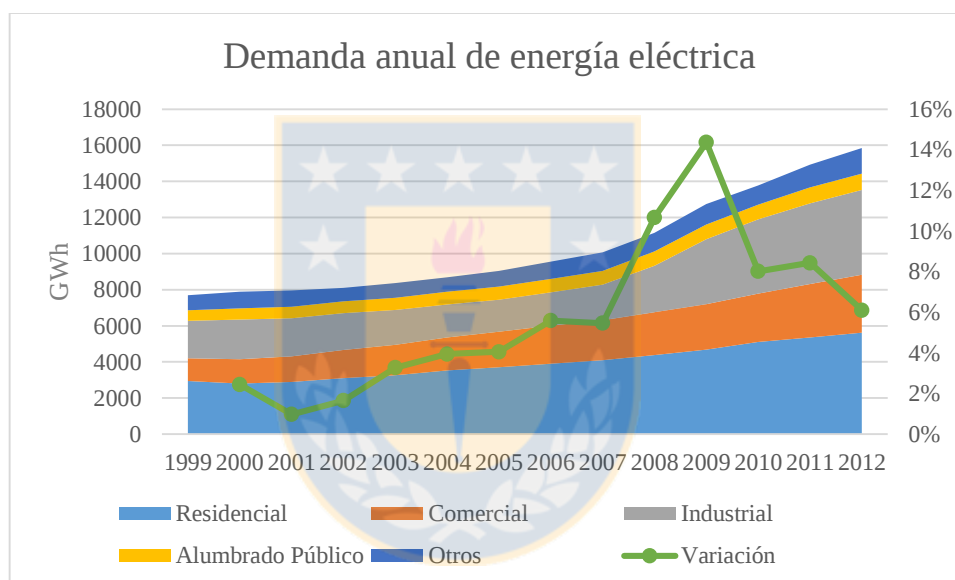


Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

En la Figura 1.4 se presenta el comportamiento del caudal medio anual del embalse Amaluza para el período que va desde enero del 2004 hasta diciembre del 2013. En los últimos años, el caudal promedio del embalse Amaluza, que alimenta a la central hidroeléctrica Paute, ha sufrido un descenso desde $77,64 \text{ m}^3/\text{s}$ para el 2011, a $57,43 \text{ m}^3/\text{s}$ en el 2012 y a $39,65$ en el 2013.

La energía demandada por las diferentes categorías de clientes ha venido creciendo desde 7700,69 Gwh en 1999 hasta 15842,69 Gwh al año 2012 con una tasa de crecimiento promedio del 5,8 por ciento. En la Figura 1.5 se puede apreciar de mejor manera esta evolución. Para el año 2012 el consumo de energía se distribuyó de la siguiente forma: 5623,78 Gwh (35,5 por ciento) para el sector residencial, 3208,51 Gwh (20,3 por ciento) para el comercial, 4685,82 Gwh (29,6 por ciento) para el industrial, 913,02 Gwh (5,8 por ciento) en alumbrado público y 1411,56 Gwh (8,9 por ciento) para otros consumo.

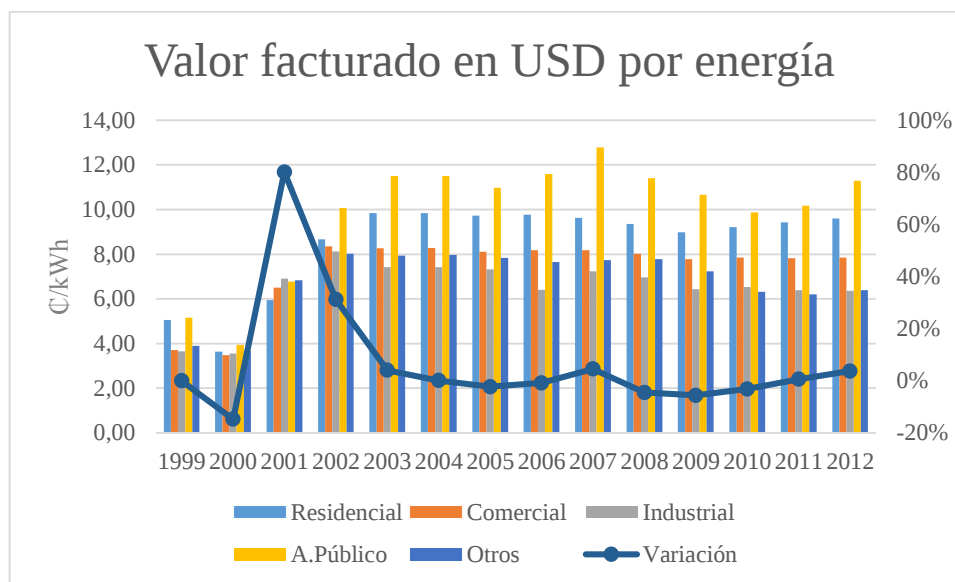
Figura 1.5 Consumo de electricidad a frecuencia anual para cada categoría de clientes medido en GWh



Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

El valor de la energía eléctrica para finales de 1999 fue en promedio de 4,29 USD ¢/kWh (centavo de dólar por kilowatt hora) y ha aumentado hasta 8,30 USD ¢/kWh para el 2012; lo que se puede representar como una variación sustancial en la forma de abastecimiento del suministro eléctrico. En la siguiente figura se puede apreciar dicha evolución para cada categoría de clientes.

Figura 1.6 Precio medio a frecuencia anual de electricidad para cada categoría medido en ¢/kWh



Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

1.3 Motivación y Justificación

Este trabajo de investigación está encaminado a constatar, comprobar y proyectar 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. *“Planificar, no es adivinar o predecir el futuro, es construirlo. La demanda es una variable controlable: por la planificación energética y los incentivos a la demanda”*. Ver [Jiménez 2011, p. 34]

La predicción es una herramienta muy útil ya que ayuda a la planificación y anticipación de eventos futuros que afectan a un sistema; con esto se pueden adquirir los recursos necesarios con suficiente antelación para producir y así maximizar la rentabilidad mediante la elección de decisiones adecuadas. En el sector eléctrico, conocer con anticipación el consumo del mercado ayuda al generador de energía saber cuánta potencia necesita para satisfacer a la demanda, dar mantenimiento a elementos del sistema, optimizar su oferta de energía y así maximizar su rentabilidad. El generador de energía debe garantizar un equilibrio continuo entre la electricidad que se produce y la que se consume, debido a que la electricidad es un insumo que no se puede almacenar de forma masiva. Por ende es necesario planificar con antelación cuanto se va a generar de energía y se deja evidencia la complejidad de predecir la demanda eléctrica.

Una de las principales fortalezas que tiene esta investigación es que se usan herramientas econométricas. Se aplicarán modelos econométricos debidamente probados, vigentes y adecuados a la característica del sector eléctrico. Un plus que otorgará la investigación en sus resultados es la relacionada con el análisis y efectos de los determinantes del consumo de la energía eléctrica para los usuarios, una herramienta fundamental para las entidades de regulación del gobierno ecuatoriano para las tomas de decisiones y formulación de estrategias. Además de los resultados y

conclusiones que proporcionará la investigación sobre la conducta que tiene los determinantes del consumo de energía eléctrica agregando la proyección que se realizará, este trabajo ayudará a reforzar la literatura disponible en Ecuador sobre este sector la cual en su mayoría es de carácter descriptivo. Se busca además despertar el interés a futuros investigadores a realizar trabajos relacionados con esta área.

1.4 Objetivos e Hipótesis

1.4.1 Objetivo general

Considerando lo presentado en este capítulo el objetivo general que busca esta investigación es el desarrollar modelos que permitan la proyección para el consumo de la energía eléctrica en el Ecuador para usuarios del sector residencial.

1.4.2 Objetivos específicos

El esfuerzo por alcanzar el objetivo general, señalado anteriormente, nos permitirá cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Estimar los factores que determinan el consumo de electricidad. Será información útil para diseñar políticas que tengan como finalidad atacar características sensibles que afecten el sistema; por ejemplo, el aumento en el consumo energético por una disminución en los precios.
- Entregar elasticidades precio e ingreso de la demanda de energía. Encontrar las elasticidades del consumo para los hogares respecto a variables que la influyen significativamente nos mostrará el impacto a corto plazo por variaciones de las variables explicativas.
- Comparar los resultados obtenidos del modelo versus los valores reales de la demanda de energía eléctrica. Nos ayudara a ver qué tan buenas son las proyecciones generadas en el estudio y si tiene algún comportamiento semejante a los valores reales.

1.5 Contenido de la tesis

Este trabajo de investigación se divide en seis capítulos, incluyendo además un anexo que corrobora al desarrollo del mismo. A continuación, se detalla brevemente el contenido de cada uno de estos capítulos. En este capítulo se incluye una introducción general, objetivos a desarrollar, motivación y justificación de la investigación. Además se expone una descripción de la naturaleza del sector de energía eléctrica en Ecuador. El Capítulo 2 corresponde a una discusión sobre el estado del arte de la predicción del consumo para la energía eléctrica, abordando los factores que

influyen en su desarrollo e investigaciones que han aportado a la literatura tanto en Ecuador como para el resto del mundo.

En el Capítulo 3 se explican y formulan matemáticamente los modelos de predicción basados en series de tiempo: modelo ARIMA y ARIMAX. Se describe pasos sugeridos para la correcta construcción, estimación, validación y predicción de los modelos. El Capítulo 4 mostraremos un análisis estadístico de la información discutida en el Capítulo 2, identificado variables importantes para la modelación de las series. El Capítulo 5 presenta los resultados conseguidos al usar modelos ARIMA y ARIMAX en el mercado ecuatoriano. Por ultimo para el Capítulo 6 se muestra un resumen de todas las conclusiones obtenidas de este trabajo de investigación así como recomendaciones para futuras líneas de investigación.



Capítulo 2: Estado del Arte

Para una mejor comprensión de nuestra investigación, en este capítulo presentaremos una breve descripción bibliográfica de las variables significativas que influyeron en los trabajos de investigación relacionados a la proyección del consumo eléctrico. Comentaremos las principales colaboraciones que han generado estos trabajos en la literatura del área de investigación. *“La predicción de la demanda es un problema de gran importancia para el sector eléctrico, ya que a partir de sus resultados los agentes del mercado de energía toman las decisiones más adecuadas para su labor”*. Ver [Rueda 2011, p. 65]. Por ende, el estudio de la demanda eléctrica establece hitos económicos en el desarrollo de una sociedad.

2.1 Estudios internacionales

En la investigación de [Dergiades and Tsoulfidis, 2008] se estudió la estabilidad de las variables en la función de demanda de electricidad, la cual depende negativamente del precio de la electricidad y positivamente del ingreso per cápita, precio del petróleo y stock de casas. La variable número de casa es tomada como variable proxy del número de electrodoméstico, debido al supuesto que a mediados de los sesenta los equipos usados en el hogar consumían electricidad. Mediante un modelo autorregresivo y de retardos distribuidos con enfoque de cointegración se analizó la naturaleza de la demanda ante variaciones significativas de precios.

Haciendo uso del enfoque presentado por [Engle and Granger, 1987] sobre cointegración y el modelo de corrección de errores (MCE); [Athukorala and Wilson, 2010] 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 real, el precio real del queroseno, el precio real del gas licuado de petróleo (GLP) y el consumo promedio residencial en kWh desde 1960 hasta 2007. Los autores muestran que 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.

Es de gran interés ver cómo reacciona la relación entre el consumo de energía eléctrica y el aumento de la actividad económica para el caso ecuatoriano. En [Asafu-Adjaye, 2000] se sugiere que hay una correlación positiva entre la demanda de energía eléctrica y la evolución del PIB para India, Indonesia, Filipinas y Tailandia. Pero, sin embargo, debemos citar el trabajo de [Belke et al., 2010], donde se observa que existe una neutralidad entre estas variables para 25 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

2.2 Estudios en países de América Latina

2.2.1 Chile

En [Benavente et al., 2004] se estudió la demanda residencial por energía eléctrica a frecuencia mensual que va 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 de la población, se tomó como variable proxy el Indicador Mensual de Actividad Económica (IMACEC)⁴. La elasticidad precio de la demanda a corto plazo fue de -0,05 por ciento.

2.2.2 Colombia

En Colombia [Murillo et al., 2003] elaboraron una investigación que tuvo como objetivo pronosticar la demanda de energía eléctrica haciendo uso de modelos ARIMA; se usó una base datos históricos suministrada por la Empresa de Energía de Pereira que van desde el primero de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2001. El modelo utilizado, después de realizar los test pertinentes fue un SARIMA (1,0,0)(2,1,0), los errores producidos por el modelo cumple con el supuesto de normalidad que permite confiar en la bondad de ajuste.

En [Barrientos et al., 2007] con el fin de obtener pronósticos, se modeló la demanda diaria de energía eléctrica en el valle del Cauca. Los datos van desde enero de 2001 hasta noviembre del 2004 a frecuencia horaria. Se usó modelos spline y para fines de comparación se ajustó un modelo ARIMA. Los resultados muestran que se da una fuerte relación entre el PIB y la demanda de energía eléctrica, se concluyó que los modelos que usan tasa de crecimiento en las variables explicativas, son adecuados para la proyección de la demanda. En el trabajo de [Zapata, 2011] se observa que frente a variaciones en la tarifa de electricidad, los usuarios reducen el consumo de energía. Asimismo en el trabajo de [Mendoza, 2010] se muestra que ante alzas en el ingreso se tiende a aumentar el consumo, con mayor intensidad en los estratos bajos, siendo casi inalterable en estratos altos.

2.2.3 Argentina

En [Bastos et al., 2014] se evaluó el efecto que tiene los precios de la energía eléctrica en Buenos Aires, además de su impacto en el corto plazo para el consumo de electricidad. Se concluye que un aumento en el precio ocasiona un descenso significativo, importante y veloz en el consumo de electricidad.

⁴ 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.

2.3 Estudios en Ecuador

Las variables que son teóricamente recurridas y que se las suele incluir en modelos de demanda de electricidad son: precios de electricidad, el ingreso de los consumidores, precio de productos sustitutos, el tamaño de la población, etc. De estas observaciones las que se prestan mejor para nuestra investigación son: precios medios de la energía eléctrica a consumidores residenciales, el índice de actividad económica de Ecuador, precio de combustibles y números de consumidores.

En [Díaz, 2009] 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 de capitalización y apertura de inversión extranjera 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 sumado a eso las consecuencias que dejaron los procesos de transición. Diferentes autores han coincidido en que la dificultad de este modelo es que apuntaba a sociedades capitalistas avanzadas en donde cada persona tiene la capacidad de pagar por completo el servicio, siendo absurdo el recurrir a subsidios estatales con el objetivo de impulsar el desarrollo del sector; tema que es difícil de pensar en países en vías de desarrollo como el estudiado.

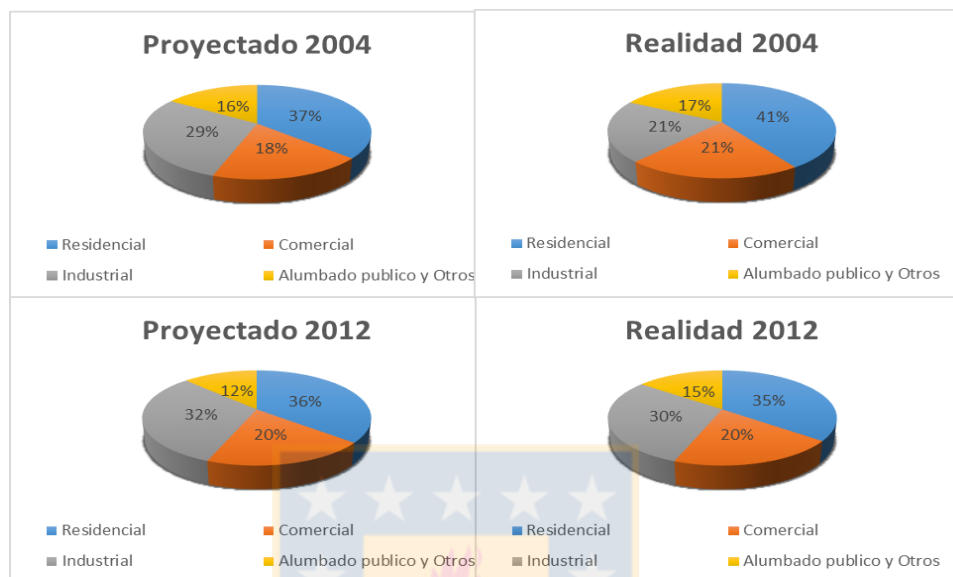
Este modelo, el cual debía ser una salida viable y servir para fortalecer el sector eléctrico ecuatoriano, causó una serie de inconvenientes, hasta el punto de ser necesaria la intervención estatal. Una muestra clara de esto fue el Mandato Constitucional No. 15 aprobado por la Asamblea Nacional Constituyente en el año 2008, donde el capítulo quinto referente a sectores estratégicos, servicios y empresas públicas dice “el Estado se reservará el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos como es la electricidad”. Por ello es importante contar con un servicio eléctrico de calidad, de precios reales, de amplia cobertura, fácil acceso de nuevos clientes y mantenimientos continuos a elementos del sistema.

En la investigación de [Eras, 2012] se nos informa que los recursos fósiles representan un 52 por ciento de la potencia efectiva para el servicio eléctrico, lo que indica que existe un elevado porcentaje de energía térmica el cual genera una mayor emisión de CO₂. El aumento en la generación hidráulica del país es de gran provecho para cubrir la necesidades del servicio eléctrico para la población demandante, disminuir la dependencia energética de otros países, reducir el consumo de combustible fósil, disminuir emisiones de gases de invernadero e incluso aumentar la generación de empleo.

En el Plan Nacional de Electrificación 2004-2013 informado en [CONELEC, 2004] se toma como variables que afectan al consumo de energía eléctrica: El crecimiento del PIB y la sensibilidad al precio de la energía eléctrica. Este plan se toma un horizonte de 10 años. Su principal desventaja es que no cuenta con estudios que confirme que la metodología usada sea la correcta. Debido a la evolución de los precios de electricidad la demanda ha tenido una conducta diferente a la del PIB creando una distorsión en la correlación entre la evolución de la demanda con la economía del

país. En la siguiente figura se puede comparar los valores proyectados versus los valores reales del consumo de electricidad para en S.N.I. de los años 2004 y 2012 donde la primera columna es el año proyectado y el segundo es el valor ya comprobado por la ARCONEL antiguo CONELEC:

Figura 2.1 Participación del consumo eléctrico para cada categoría de clientes proyectado y real para los años 2004 y 2012



Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

Se aprecia que los valores difieren pero no abruptamente. El sector que más consume es el residencial seguido por el industrial. Se puede apreciar que existe una reducción en el sector comercial y un aumento en los sectores industriales debido que Ecuador está cambiando su matriz productiva y demanda más energía para generar mayor producción⁵.

[Larrea, 2012] 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, y la participación de la generación hidroeléctrica en el total ha ascendido del 44 por ciento en 2006 al 59 por ciento en 2008. Se ha estimado el potencial hidroeléctrico aprovechable del Ecuador en 21500 MW, de los cuales se utiliza solamente el 10 por ciento.

La inversión está desproporcionadamente concentrada en recursos hidroeléctricos, y han recibido escasa atención 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

⁵ La matriz productiva es el conjunto de interacciones entre los diferentes actores de la sociedad que utilizan los recursos que tienen a su disposición, con los cuales generan procesos de producción. Dichos procesos incluyen los productos, los procesos productivos y las relaciones sociales resultantes de esos procesos.

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.

2.4 Resumen de la revisión literaria

En el cuadro 2.1 mostramos un resumen de los trabajos consultados. Detallamos los autores, el país de estudio, año de investigación, periodo de estudio, el modelo utilizado y variables empleadas. Las investigaciones del sector eléctrico ecuatoriano son de aspecto descriptivos por ello no se presentan las investigaciones consultadas en el cuadro de resumen.

Tabla 2.1 Resumen de trabajos investigados

Autores	País	Año	Periodo	Estimación	Variables	Modelo Utilizado
Asafu-Adjaye, J.	India, Indonesia, Filipinas y Tailandia	2000	1971-1995	Consumo de energía	Precio de energía y PIB	Cointegración y MCE
Murillo et al.	Colombia	2003	2001 Enero-Diciembre	Demanda de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica	ARIMA
Benavente et al.	Chile	2004	1995-2001	Demanda residencial de electricidad	Stock de enseres, precio de electricidad, precio del gas, IMACEC	Regresión lineal
Barrientos et al.	Colombia	2007	2001-2004	Demanda de energía eléctrica	Precio de energía, PIB	Regresión no paramétrica y ARIMA
Dergiades, T. y Tsoulfidis, L.	Estados Unidos	2008	1965-2006	Demanda residencial de electricidad	Ingreso per cápita, precio de electricidad, precio del petróleo, condiciones climáticas y stock de casas ocupadas	Modelo autorregresivo con retardos distribuidos
Athukorala, W. y Wilson, C.	Sri Lanka	2010	1970-2007	Consumo residencial	PIB per cápita, precio del queroseno, precio del GLP, Consumo promedio residencial	Cointegración y Modelo de corrección de errores (MCE)
Belke et al.	25 países de la OCDE	2010	1981-2007	Consumo de energía	Precio de energía y PIB real	Cointegración con datos de panel y modelos de corrección de errores
Mendoza, J.	Colombia	2010	1998-2006	Demanda de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica, tarifa media, temporada, PIB	Mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y función de panel balanceado
Zapata, J.	Colombia	2011	2003-2010	Consumo de energía eléctrica	PIB, precio de gas natural, precios de la electricidad	ARIMA
Bastos et al.	Argentina	2014	2002-2009	Evolución de precios y consumo residencial	Precios, aranceles gas natural, consumo de energía	Regresión lineal

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3: Metodología

En este capítulo vamos a explicar la estructura de los modelos AR, MA, ARIMA y ARMAX. También describimos los procedimientos y condiciones de los modelos que serán utilizados en este estudio. Para poder ejecutar las proyecciones y estimaciones con serie de tiempo existen diferentes métodos. En este trabajo se utilizará modelos ARIMA y ARIMAX basada en la metodología Box-Jenkins.

3.1 Procesos autorregresivos de orden p

El modelo autorregresivo de orden p lo representamos matemáticamente de la siguiente forma:

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + u_t \quad (1)$$

Se escribe la variable dependiente y_t en función de las observaciones pasadas de ella misma, también se le adiciona un término de error u_t , que debería comportarse como ruido blanco. Podemos expresar en una forma más abreviada:

$$\alpha(L)y_t = u_t \quad (2)$$

$$\alpha(L) = (1 - \alpha_1 L - \dots - \alpha_p L^p) \quad (3)$$

Donde $\alpha(L)$ representa un polinomio de orden p para el operador de rezago. El operador de rezago L aplicado al valor de una variable y_t da el valor de la variable para un periodo antes. Si aplicamos p veces L a la variable y_t obtenemos el valor de la variable p periodos antes, expresado matemáticamente:

$$Ly_t = y_{t-1} \quad (4)$$

$$L^p y_t = y_{t-p} \quad (5)$$

3.2 Proceso de promedios móviles de orden q

El modelo de promedios móviles de orden q lo representamos de la siguiente forma:

$$y_t = u_t + m_1 u_{t-1} + m_2 u_{t-2} + \dots + m_k u_{t-k} + \dots + m_q u_{t-q} \quad (6)$$

En este modelo el valor de la variable endógena y_t para un período t depende de un término de error u_t y de una sucesión ponderada correspondientes a los k instantes precedentes a u_{t-q} . El modelo MA de orden q lo expresamos en una forma más abreviada en función del operador de rezago de orden q :

$$m(L) = (1 + m_1L + \dots + m_qL^q) \quad (7)$$

$$y_t = m(L)u_t \quad (8)$$

3.3 Procesos ARIMA

Con la nomenclatura AR (autorregresivo) en ARMA nos referimos a valores pasados de la variable dependiente en la serie de tiempo. En cambio, con MA (promedios móviles) 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 como regresores y retardos del término de error u_t .

Un proceso general ARMA (p, q) con p términos autorregresivos y q términos de promedio móviles lo representamos como:

$$y_t = \beta + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + u_t + m_1 u_{t-1} + m_2 u_{t-2} + \dots + m_q u_{t-q} \quad (9)$$

Un modelo ARIMA (p, d, q) es lo mismo que un 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 a cada elemento de la serie la observación anterior.

$$\Delta y_t = (1 - L)y_t = y_t - y_{t-1} \quad (10)$$

Donde Δ es el operador de diferencia y L es el operador de rezagos que retarda una posición la observación. Ya que la serie de tiempo debe ser estacionaria en media antes de modelar los términos AR y MA, la diferenciación es usada comúnmente para transformar una serie no estacionaria en medias en una estacionaria en medias donde la media no varían al transcurso del tiempo y fluctúa alrededor de cero. El nivel de diferenciación necesario lo contrastaremos estadísticamente con el test de Dickey-Fuller⁶.

Igualmente, la serie de tiempo debe ser estacionaria en varianza antes de modelar términos AR y MA. Si la variabilidad de los datos crece con el nivel de los mismos, es decir, cambios en los niveles que fluctúa verticalmente la serie de tiempo de un periodo a otro por ejemplo de un año a otro el mínimo y máximo de la serie incrementa o disminuye. Se suele corregir este problema mediante una transformación logarítmica, aplicando logaritmos naturales a las observaciones y consiguiendo la estacionariedad en varianza.

⁶ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 815)

3.3.1 Procedimiento de modelo ARIMA

Primero evaluaremos si la serie de tiempo requiere de una transformación logarítmica, esto puede suceder por que las observaciones en un periodo oscilan en un espacio mayor o menor que en otro periodo. Utilizando el test de Dickey-Fuller evaluaremos la estacionariedad en medias de nuestras series de tiempo, si es necesario, modificamos la serie mediante diferenciación para transformarla a estacionaria. Se disminuirá significativamente la variación de la serie a través del tiempo, y la serie es centrada más cerca a cero.

Usando una serie de tiempo estacionaria, empezamos la construcción del modelo ARIMA. Examinaremos el diagrama de la función de autocorrelación (AC) que nos sugiere el nivel inicial rezagos del termino MA, los posibles niveles de rezagos para el termino AR lo podemos obtener del diagrama de la función de autocorrelación parcial (PAC). Identificar el adecuado orden del modelo ARIMA representa un proceso interactivo de selección de términos AR y MA; más de una combinación de rezagos AR y/o MA nos puede dar rezagos significativos para poder escoger la mejor combinación nos basamos en los test Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Seleccionaremos aquella que tenga menor valor AIC y/o BIC.

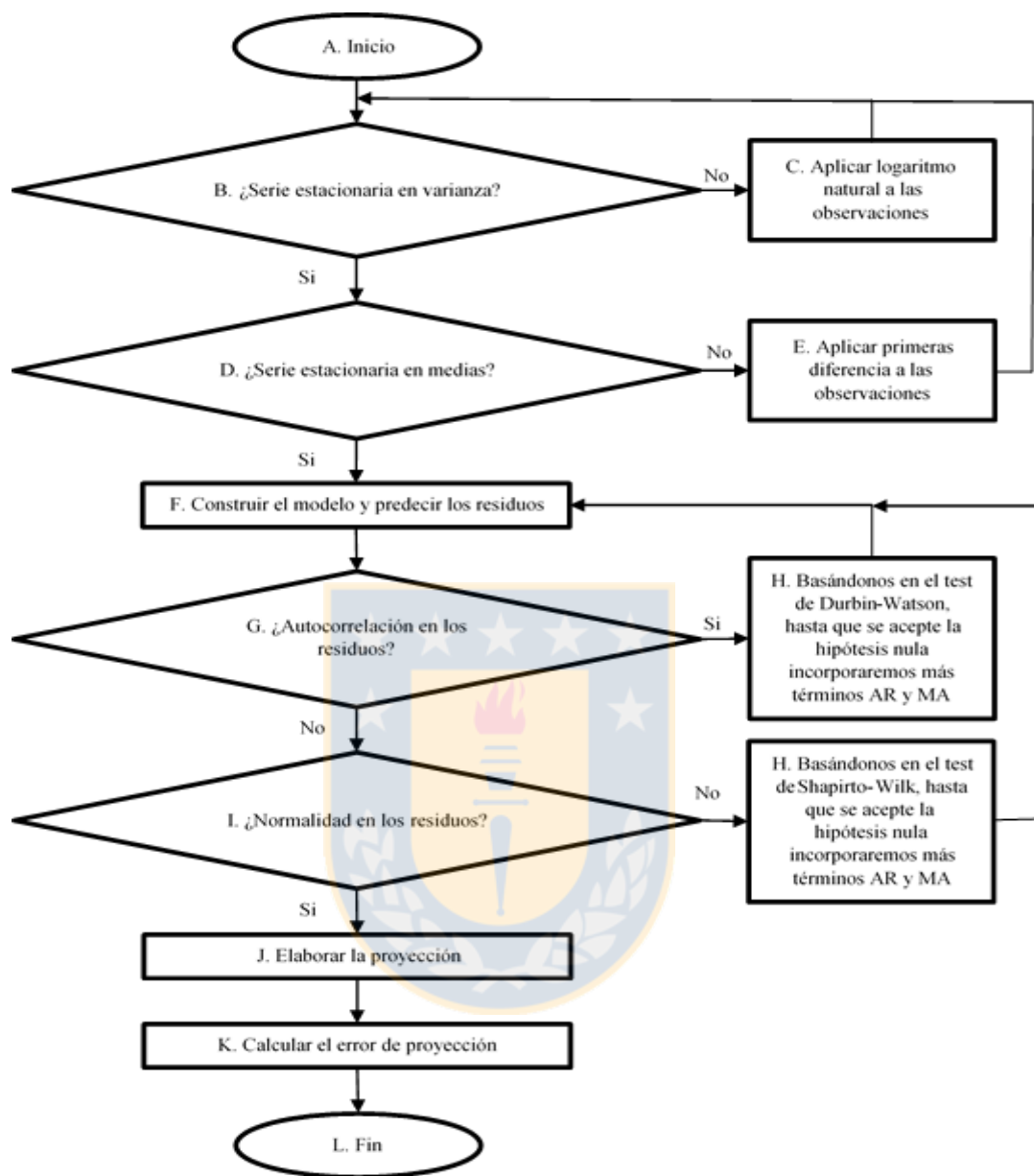
Ahora debemos evaluar la naturaleza de los residuos del modelo seleccionado y empezaremos evaluando la autocorrelación de los errores. Elaboramos los diagramas tanto de AC como de PAC y si ninguna observación sobresale de las bandas de confianza, sugerimos la no presencia de autocorrelación; también nos podemos ayudar con el test de Breush-Godfrey⁷. Ahora comprobaremos la normalidad de los errores, calculamos los gráficos de densidad de los errores y la comparamos con la curva de densidad de una distribución normal; igualmente nos apoyaremos en test de normalidad como el de Shapiro-Wilk, también analizaremos su curtosis y asimetría con un test parecido al de Jarque-Bera⁸.

Por último se genera la proyección de la metodología ARIMA. Finalmente podremos calcular el error de proyección que se comete usando datos reales del consumo de energía eléctrica de clientes residenciales en el Ecuador, también podremos calcular el coeficiente de correlación y la bondad de ajuste de los valores estimados y los valores proyectados. El proceso que acabamos explicar, se resume en la siguiente figura.

⁷ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 472)

⁸ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 148)

Figura 3.1 Proceso para la modelación ARIMA



Fuente: Elaboración propia

3.4 Proceso ARIMAX

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 R^2 (u otra medida de poder explicativo del modelo), es natural que busquemos otros parámetros que influyan en el modelo sumando a estos los valores históricos de la variable dependiente. Además de lo expuesto,

la incorporación de variables independientes al modelo nos permitirá sacar conclusiones económicas de la relación de la variable dependiente con las exógenas.

Por ejemplo, una variable dependiente de una serie de tiempo y_t puede ser estimada con una adecuada combinación de las siguientes variables de lado derecho de la ecuación.

1. x_t = el valor de la variable exógena x en el tiempo t
2. y_{t-1} = el valor inmediato anterior de la variable dependiente y_t en el tiempo $t - 1$
3. y_{t-2} = el valor inmediato anterior de la variable dependiente y_{t-1} en el tiempo $t - 2$
4. u_{t-4} = el error estimado producto del modelo en el tiempo $t - 4$

$$y_t = \delta_1 x_t + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + m_1 u_{t-4} \quad (11)$$

Donde $\delta_1, \alpha_1, \alpha_2$ y m_1 son coeficientes estimados.

Existe cuatro supuestos estadísticos que se debe examinar para asegurar que los resultados del modelo ARIMAX son válidos. El primer supuesto se refiere a la estacionariedad de la serie que estamos estudiando. El segundo supuesto es acerca de los errores producidos del modelo, y los otros dos restantes están relacionados a las variables exógenas del modelo.

- **Supuesto 1:** Se requiere que la serie de tiempo sea estacionaria, es decir que media y varianza no varíen al transcurso del tiempo. El grado de estacionariedad en medias lo evaluaremos estadísticamente usando el test de Dickey-Fuller y observando la serie para ver si es necesario una transformación lineal. Si las observaciones del modelo no son estacionarias, aplicaremos una transformación logarítmica y diferencias a la variable dependiente y de igual nivel a las variables independientes.
- **Supuesto 2:** Los residuos no debe poseer un nivel significativo de autocorrelación. Lo evaluaremos mediante los gráficos de AC y PAC. Si existe presencia de este problema, se lo puede reducir agregando una combinación apropiada de uno o más términos AR y/o MA. Al igual se puede observar la autocorrelación mediante el test de Breush-Godfrey.
- **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. Si el supuesto 2 no se cumple, y los residuos no son ruido blanco, entonces su autocorrelación debe ser extraída.
- **Supuesto 4:** Una variable exógena puede mostrar una relación casual significativa con la variable dependiente, pero esto no se debe cumplir en viceversa. El nivel de casualidad lo mediremos usando el test de causalidad de Granger⁹. Si se observa una casualidad inversa, se debe retirar la variable independiente.

⁹ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 696)

3.4.1 Procedimiento del modelo ARMAX

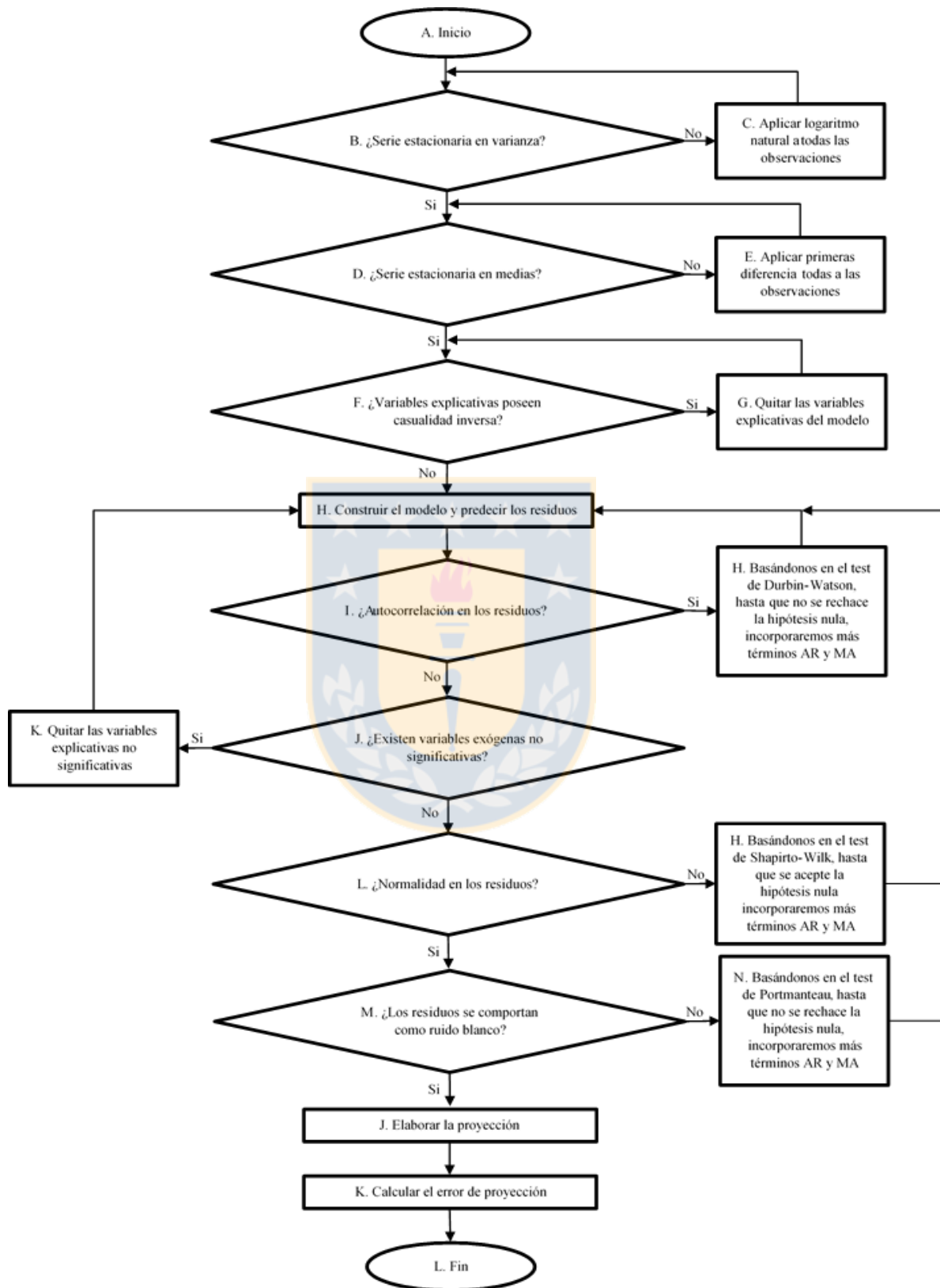
Al igual que en el modelo ARIMA que fue explicado anteriormente, necesitamos encontrar el nivel de integración para convertir la serie en estacionaria en media basándonos en el test de Dickey-Fuller. Para asegurar la estacionariedad en varianza aplicaremos una transformación logarítmica. El nivel de diferenciación y transformación logarítmica que aplicamos a la variable endógena, también lo aplicamos a las variables exógenas para garantizar la estacionariedad de estas.

Seguiremos revisando la existencia de casualidad inversa, es decir, si las variables exógenas son causadas por la variable dependiente apoyándonos en el test de casualidad de Granger. Si existe una dependencia de la variable exógena con respecto a la variable endógena entonces procedemos a remover esta variable independiente del modelo. Ahora interactuaremos con los rezagos, tanto del termino AR como para el término MA y así construir nuestros modelos. Más de un modelo puede ser correcto por ello seleccionaremos aquel que tenga menor valor AIC y/o BIC. Usando los modelos estimados predeciremos los residuos para revisar primero la presencia de autocorrelación en estos, como hemos visto en el modelo ARIMA vamos a comprobar que pocas observaciones de los diagramas AC y PAC sobresalga de las bandas de confianza, con eso sugerimos la no presencia de autocorrelación. Si existe autocorrelación tendremos que incorporar más términos AR y MA que sean significativos para asegurar la no autocorrelación de los residuos. Al igual usaremos el test de Breush-Godfrey para constatar la presencia de autocorrelación.

De los resultados que tenemos, ahora empezaremos a depurar variables explicativas no significativas del modelo. Si existen cambios estructurales en alguna variable explicativa, procederemos a usar variables mudas¹⁰ que capturen la anormalidad de las variables exógenas. Al igual que el modelo ARMA comprobamos la normalidad de los residuos mediante el diagrama de densidad y test de normalidad, en caso de no existir normalidad al igual que los otros pasos debemos incorporar más términos AR y MA. Por ultimo comprobamos si los residuos se comportan como ruido blanco, es decir, que posea media cero, varianza constante y covarianza cero; nos apoyaremos en el test de Portmanteau donde si no se rechaza la hipótesis nula entonces hay evidencia de ruido blanco en los residuos. Los pasos que efectuaremos para la construcción de modelos ARIMAX que acabamos de detallar en los pasos anteriormente explicados, ahora lo representaremos en la siguiente figura:

¹⁰ Para mayor información ver Gujarati (2004, p. 312)

Figura 3.2 Proceso para la modelación ARIMAX



Fuente: Elaboración propia

3.5 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:

$$C = f(P, P_s, I, y) \quad (11)$$

Dónde:

C : Cantidad demanda del bien.

P : Precio del bien.

P_s : Precio de otros bienes.

I : Ingreso de los demandantes.

y : Otros factores.

Nuestra investigación se apoya en la teoría de la demanda del consumidor. Dicho de otra forma, los consumidores incrementarían su consumo si el ingreso que ellos perciben aumenta, 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 se relaciona inversamente con el consumo. La elasticidad precio de la demanda es un concepto que mide la variación de la cantidad demandada de un bien cuando varía su precio. La elasticidad precio de la demanda, podemos catalogarla en tres escenarios:

- Elástica, cuando la variación en el precio de un bien genera un cambio mayor a la cantidad demandada del bien.
- Elástica unitaria, cuando un cambio del precio de un bien produce una variación de igual proporción a la cantidad demandada del bien.
- Inelástica, cuando la variación en el precio de un bien genera un cambio menor a la cantidad demandada del bien.

En general se espera que la elasticidad precio de la demanda sea negativa; son muy excepcionales elasticidades precios no negativas las cuales se ven afectadas por influencias al mercado y no por comportamientos naturales de los consumidores. Al respecto de la elasticidad ingreso de la demanda se espera que sea positiva. Para generar los índices constantes de la elasticidad precio e ingreso de la demanda, se necesita realizar una transformación logarítmica al modelo original con logaritmos naturales. Si el modelo ya posee una transformación logarítmica no va ser necesaria usar otra, de esta forma tenemos:

$$\ln C = \beta + \delta_1 \ln P + \delta_2 \ln P_s + \delta_3 \ln I + \delta_4 \ln y + \mu \quad (12)$$

La razón de la transformación logarítmica del modelo, es que por medio de este proceso, se captura directamente en los parámetros el grado de respuesta proporcional de una variable ante variaciones proporcionales de la otra. En base a lo anteriormente expuesto, el capítulo de Metodología y siguiendo además a [Dergiades and Tsoulfidis, 2008], [Athukorala and Wilson, 2010] y [Benavente et al., 2004] 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:

$$\begin{aligned}\Delta(\ln Y) = & \beta + \lambda_1 \Delta(\ln P) + \lambda_2 \Delta(\ln B) \\ & + \lambda_3 \Delta(\ln F) + \lambda_4 \Delta(\ln IAE) + \lambda_5 \Delta(\ln N) + \lambda_6 \Delta(\ln C) \\ & + \alpha_1 \Delta(\ln Y_{t-1}) + \dots + \alpha_p \Delta(\ln Y_{t-p}) + m_1 u_{t-1} + \dots \\ & + m_q u_{t-q} + u_t\end{aligned}\quad (13)$$

Dónde:

Y : Consumo de energía eléctrica de los clientes residenciales.

P : Precio medio de la energía eléctrica para clientes residenciales.

B : Precio del barril de petróleo WTI.

F : Precio del barril del fuel oil 6.

IAE : Índice de la actividad económica.

N : Número de clientes residenciales.

C : Caudal del embalse Amalusa.

Y_{t-j} : Consumo de clientes residenciales rezago de orden j .

u_{t-j} : Error rezagado de orden j .

Se considera entonces como variable dependiente al consumo de energía eléctrica de los clientes residenciales Y , además presentamos como variables explicativas del consumo a: el precio medio de la energía eléctrica para clientes residenciales P , el precio del barril de petróleo WTI B , el precio del barril del fuel oil 6 F , el índice de la actividad económica IAE , el número de clientes residenciales N y el caudal del embalse Amalusa C .

Las variables precio del barril de petróleo WTI y precio del barril del fuel oil 6 son tomados en la función de demanda por el hecho que son sustitos primarios de la energía eléctrica en los hogares. Comprobando además el modelo de producción de electricidad ecuatorianos tiene una dependencia de termoeléctricas e hidroeléctricas. La variable caudal del embalse Amalusa es tomada como variable explicativa debido a que si los abastecimientos de la principal hidroeléctrica disminuyen, entonces disminuye la oferta energética lo que desencadena en un menor consumo ya que la electricidad que se consume es la que se produce.

Se supone que el precio medio de la energía eléctrica y el precio del barril de petróleo condicione inversamente al consumo de energía; además que el índice de la actividad económica, variable proxy del ingreso, condicione directamente al consumo de electricidad. De estas y las otras

variables su sentido de relación lo estudiaremos aplicando el test de Granger. De sus coeficientes estimados se espera lo siguiente:

- λ_1 : Sea negativo, es decir, que un aumento en el precio de la energía eléctrica genere una disminución en el consumo de electricidad.
- λ_2 : Un aumento de unos de los insumo para la producción de energía eléctrica provoque una baja en el consumo de electricidad, es decir $\lambda_2 < 0$.
- λ_3 : Un alza en el precio del fuel oil generaría una disminución en el consumo de energía eléctrica, es decir se esperaría que el coeficiente sea negativo al igual que el coeficiente λ_2 ya que ambos son insumo para la producción de electricidad.
- λ_4 : Sea positivo, ya que si existe mayor productividad esto generará mayores ingresos a las familias (*IAE* variable proxy del ingreso, según [Benavente et al., 2004]) y esto a su vez incentiva al consumo de electricidad en los hogares.
- λ_5 : Una variación positiva en el número de hogares provocaría un aumento en la energía suministrada lo que ocasiona un mayor consumo de electricidad, λ_5 debería ser positiva.
- λ_6 : Si aumenta el caudal del río, eso provoca que exista mayor generación de energía eléctrica por parte de las hidroeléctricas lo que se traduce en un mayor consumo de energía. La relación sería directa, es decir $\lambda_6 > 0$.

3.6 Evaluación del error de predicción

Finalizando las predicciones de los modelos, evaluaremos el error de las predicciones mediante la aplicación del porcentaje del error medio absoluto (MAPE), mostrado en la siguiente ecuación.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - P_t}{A_t} \right| \quad (14)$$

Donde A_i representa el valor verdadero de la variable predicha, P_i es el valor pronosticado de la variable estudiada en el periodo t , n es el número total de observaciones usadas en el análisis. Es decir, MAPE es un indicador de la capacidad del modelo para predecir su propia muestra.

3.7 Proyecciones

Para generar las proyecciones usando la metodología ARIMAX, debemos poseer proyecciones de las variables explicativas del consumo de energía eléctrica para clientes residenciales. Por ello recurrimos a información del Banco Central del Ecuador (BCE) y del Independent Statistics &

Analysis U.S. Energy Information Administration (EIA) donde obtuvimos tasas de crecimiento para los periodos de nuestra proyección, que va desde enero del 2013 hasta diciembre del 2022.

Se van a generar tres escenarios de proyección para poder cubrir más la realidad y conocer los límites que puede oscilar el consumo de electricidad proyectado, los cuales se detallan a continuación:

- **Decrecimiento económico:** En este escenario los precios medios de electricidad aumentarán, el índice de actividad económica decae y el precio del barril de petróleo WTI disminuye.
- **Proyección media:** Las tasas proyectadas de nuestras variables explicativas van a ser recogidas de las entidades EIA y BCE. En el capítulo de Análisis de los Datos mostraremos más detalladamente estos porcentajes.
- **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.

3.8 Ventajas de los modelos ARIMA & ARIMAX

Los modelos ARIMA tienen grandes ventajas ante la metodología clásica. La principal es el gran grado de flexibilidad que otorgan a las series de tiempo. A diferencia de la metodología clásica, donde los datos se ajustan a un modelo matemático establecido. En la metodología ARIMA los datos se ajustan a una serie particular.

Utilizando una metáfora, la metodología ARIMA viene a ser como: La elaboración de un traje que debe ser ajustado a una serie de tiempo particular, donde se deberá usar instrumentos (test estadísticos), materiales (datos) y estrategias (procedimiento de construcción) para la construcción del modelo. Entre otras ventajas tenemos:

- Los conceptos que se usan para la metodología ARIMA, vienen de solidas teorías de probabilidad clásica y estadística matemática.
- Box-Jenkins desarrollaron una completa estrategia que sirve de guía para escoger un apropiado modelo.
- Un correcto modelo ARIMA produce muy buenas predicciones de acuerdo a la experiencia acumulada en estadística aplicada.

Estos modelos univariados ARIMA no necesitan presuponer ninguna relación de causalidad, ninguna información relativa del comportamiento de otras variables explicativas. Es suficiente conocer una serie histórica de la variable en estudio, para estimar el modelo que se utiliza para

predecir. Esta ventaja radica al ahorrarnos la identificación y especificación del modelo en el sentido de la econometría tradicional. Sin embargo, se renuncia a la inclusión de un conjunto más amplio de variables explicativas, perdiendo capacidad de análisis al tiempo que renunciamos, implícitamente, al estudio teórico previo del fenómeno y a su indudable utilidad. Por lo anteriormente expuesto esta investigación también hace uso de la metodología multivariada ARIMAX, comprobando la estimación por varios filtros como para este caso el test de Granger. La variable para la que elaboramos el modelo está en función de sus valores pasados al igual de los valores presentes y pasados de la o las variables explicativas.

Al momento de predecir el consumo de energía eléctrica es recurrente usar modelos de series de tiempo. En el Capítulo 2 hemos mostrado diferentes investigaciones internacionales, varios de ellos utilizan la metodología ARIMA la cual se va usar en nuestra investigación: [Murillo et al., 2003], [Barrientos et al., 2007] y [Zapata, 2011]. Así los modelos ARIMA constituyen una opción a considerar en el diseño de modelos de predicción.



Capítulo 4: Análisis de los Datos

4.1 Análisis de datos

Usaremos como variables exógenas para elaborar las predicciones del consumo de la energía eléctrica del Ecuador en el sector residencial, el precio medio mensual del kilovatio hora en centavos de dólares del sector residencial (P), el número de clientes del sector residencial (N), el caudal del embalse Amalusa (C), el precio del combustible medido en el mercado ecuatoriano del barril fuel oil 6 (F), el precio del barril de petróleo WTI (B) y se adjunta también una variable proxy del ingreso que es el IAE (IAE) considerada como causal del ingreso de los hogares para este sectores, base teórica del trabajo de [Benavente et al., 2004].

Las variables que se utilizaran en esta investigación están en frecuencia mensual, para la estimación del consumo se cuenta con una serie que va desde el 2004 hasta el 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 (BCE); estos datos fueron proporcionados en la página web de cada entidad y otros datos fueron requeridos por el investigador a estas entidades.

La Tabla 4.1 muestra las unidades de medidas de cada variable a usar en esta investigación. Además se agrega información estadística descriptiva de estas variables.

Tabla 4.1 Estadística descriptiva de las variables a frecuencia mensual

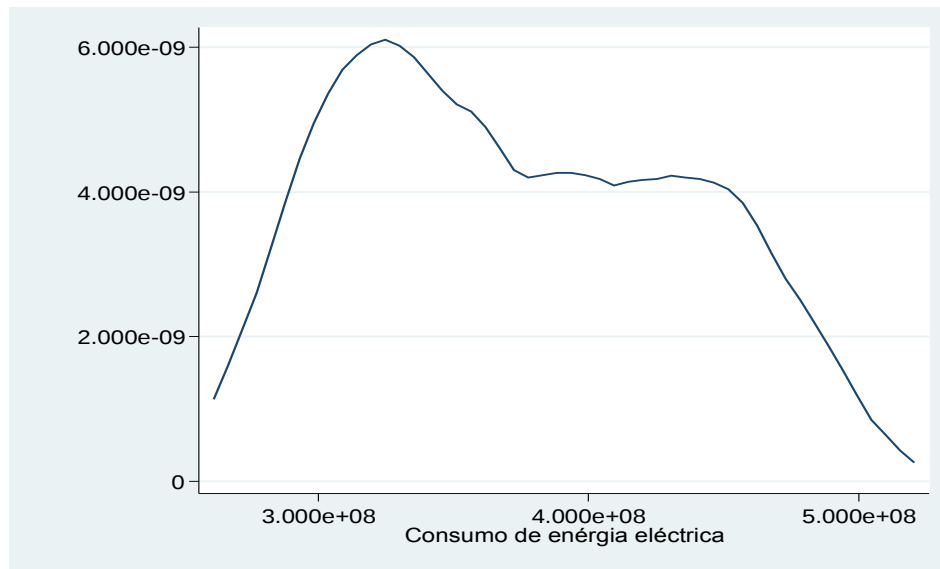
	Observación	Medidas	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.
Consumo	108	kWh	374083938	60150149	282658917	499280000
Clientes	108	número	3087822	409434.98	2460459	3853176
Precio medio	108	c/kWh	9.51	0.28	8.74	10.09
Barril WTI	108	usd/bbl	74.92	22.25	33.05	140
IAE	108	índice	103.74	7.26	83.33	127.01
Fuel oil 6	108	usd/bbl	25.71	3.71	22.39	38.5
Caudal	108	m3/s	59.41	32.53	14.05	194.24

Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL y BCE

4.1.1 Característica del consumo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica radica en el funcionamiento de electrodomésticos que requieren de esta energía para su operación lo que produce utilidad a los clientes residenciales. Se considera como área de cobertura en esta investigación a la totalidad de los clientes residenciales del Ecuador, dejando planteado que la variable a predecir será este consumo. El sector residencial consume en promedio 374 millones de kW.

Figura 4.1 Función de densidad de probabilidad para el consumo de electricidad para clientes residenciales 2004-2012



Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL

Dado el carácter de variable continua y periodica que presenta el consumo de energía eléctrica, en la Figura 4.1 se muestra el gráfico de la función de densidad de probabilidad. Donde se mide la posibilidad relativa de que el consumo de electricidad medido en kWh tome un valor específico. Se puede ver que existe una bimodalidad, esta puede ser explicada por la crisis energética del año 2009 donde el sector eléctrico entro en etapas de apagones y racionamientos de electricidad.

4.1.2 Evolución de los precios medios de electricidad, fuel oil y barril de petróleo

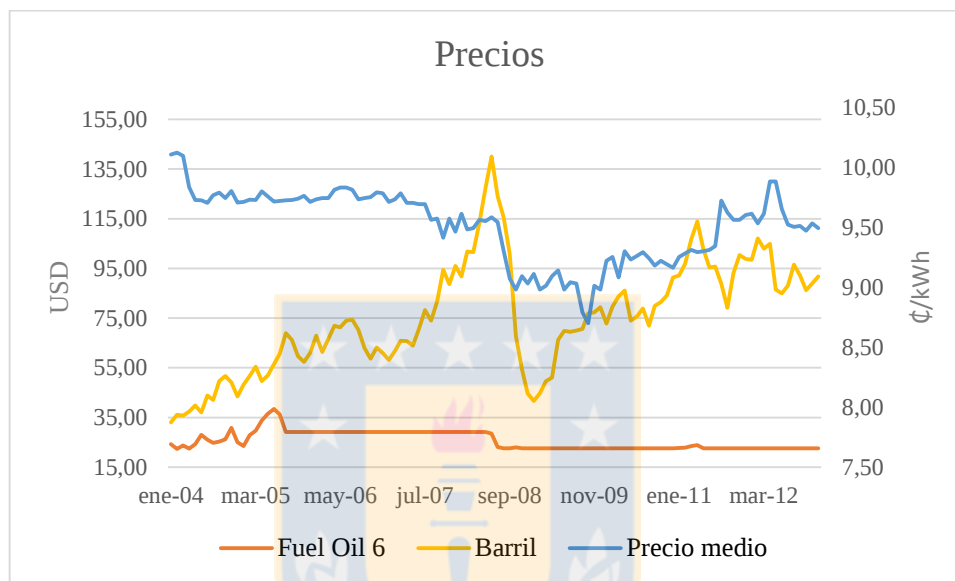
La Figura 4.2 nos muestra la evolución de los precios medios de energía eléctrica para clientes residenciales, precios del barril ecuatoriano del fuel oil 6 y precios del barril de petróleo WTI. Estos últimos dos son insumos en la producción de energía eléctrica.

El fuel oil 6 muestra una estabilidad en los precios de comercialización esto se da por el decreto 338 estipulado en agosto del 2005, el cual busca controlar los precios de combustibles para que los comerciantes no se aprovechen del subsidio que da el Estado a estos. Dicha estabilidad se traduce en baja variación lo que priori arroja coeficientes estimados con significancia irrelevante, además si no existiera el decreto 338 el precio del fuel oil 6 se comportaría semejante al precio del barril WTI, esto por el hecho que se necesita del petróleo para la producción del fuel oil 6.

Se muestra también el precio del barril de petróleo WTI. Apreciamos además en esta figura la peculiaridad del año 2008 donde se observa que el precio del petróleo tomo un cambio significativo al alza, esto debido a la demanda de mercados emergentes, como es el caso de China, donde es explicada por un incremento en la inversión de la industria pesada y la demanda creciente de vehículos. Pero en ese mismo año el precio decaió fuertemente debido a la inestabilidad financiera de los principales bancos de inversión, empresas de seguros y entidades hipotecarias en Estados Unidos que género la desaceleración económica global.

Esta crisis también afectó al precio medio de energía eléctrica en clientes residenciales. Se puede apreciar un cambio estructural justo cuando explotó la burbuja económica generada por la crisis del 2008. Para los clientes residenciales la estructura de los precios por consumo de la energía eléctrica se descompone en dos partes. La primera parte es un pago un por comercialización independiente del consumo y la segunda es un cargo en función de la energía consumida medido en USD/kWh. A continuación se muestra la evolución de los precios a través del tiempo, el precio medio de energía eléctrica en clientes residenciales sigue el orden del eje secundario.

Figura 4.2 Evolución del precio en el periodo 2004-2012 a frecuencia mensual



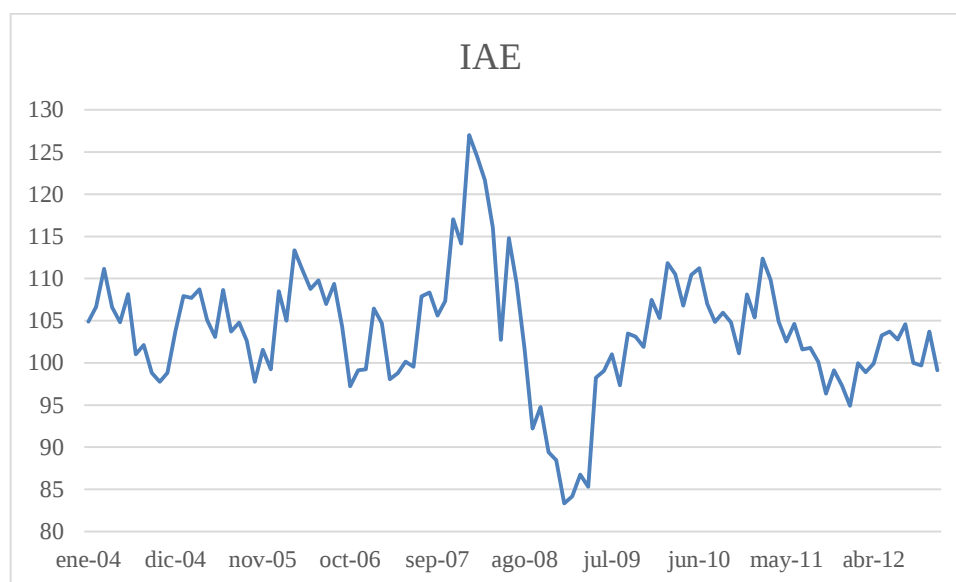
Fuente: Elaboración propia basada en información de la ARCONEL y BCE

4.1.3 IAE

El IAE es un indicador coyuntural que refleja el nivel de actividad económica del Ecuador mediante el estudio de los sectores productivos. Tomaremos al IAE como variable proxy del ingreso, por lo revisado en [Benavente et al., 2004] y el supuesto que el consumo de electricidad aumenta por mayor demanda de electrodomésticos y estas demandas crecen por aumento del ingreso.

En el año 2008 el IAE sufrió un descenso puede ser explicado por la desaceleración económica mundial del 2008. A nivel nacional esta caída puede ser explicada porque las industrias tuvieron que aumentar sus gastos salariales debido a medidas hechas por el Estado en ámbitos laborales, lo que causó un aumento en los precios de bienes y servicios para cubrir sueldos, lo que influyó negativamente en el consumo disminuyendo los ingresos.

Figura 4.3 Evolución del IAE en el periodo 2004-2012 a frecuencia mensual



Fuente: Elaboración propia basada en información del BCE

4.1.4 Número de clientes y Caudal río Amaluza

En la Tabla 4.2 observamos la evolución de los clientes residenciales de electricidad y el caudal del río Amaluza, variables que pueden explicar el comportamiento del consumo de electricidad. Apreciamos que los clientes residenciales en el Ecuador aumentan a una tasa promedio de 5,15 por ciento, esta obedece al crecimiento poblacional y de espacios habitacionales. La variable caudal hace referencia al caudal medio del río Amaluza, en los años 2010 y 2011 se nota una baja del caudal debido a pocas precipitaciones. En el Capítulo 5 de Resultados dejamos evidencia para el número de clientes y caudal del río, basándonos en el test de Granger, que el sentido condicional va de estas dos variables hacia el consumo de electricidad. Esta causalidad inversa resta poder predictivo al consumo de electricidad, por ello se extraerán estas variables de nuestras regresión.

Tabla 4.2 Evolución del número de clientes residenciales y caudal del río Amaluza a frecuencia anual

Año	Clientes	Caudal
2004	2523657.42	46.26
2005	2642371.83	49.78
2006	2760489.58	68.06
2007	2887386.50	51.54
2008	3041507.83	63.56
2009	3201810.33	76.96
2010	3382258.42	48.54
2011	3579899.42	41.23
2012	3771021.25	77.65
i	5.15%	12.60%

i: Tasa media de crecimiento anual

Fuente: Elaboración propia basada en información del ARCONEL

4.1.5 Proyecciones

En la siguiente tabla observaremos las proyecciones de las variables explicativas con poder predictivo al consumo de electricidad, información tomada del BCE y EIA. Dichos valores los mostramos anualmente para comodidad del lector, pero es valioso informar que para la proyección de la metodología multivariable los valores fueron tomados mensualmente tal y como se muestra en el BCE y EIA.

Tabla 4.3 Tasas de crecimiento anual para el precio medio de electricidad, IAE y precio barril WTI en el periodo 2013-2022

Año	Precio medio de eléctrica			I.A.E.			Precio barril de petróleo WTI		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
2013	-0.21%	-0.11%	-0.07%	0.13%	0.17%	0.31%	0.61%	0.85%	1.57%
2014	0.81%	0.43%	0.30%	-0.07%	-0.10%	-0.17%	-0.46%	-0.65%	-1.30%
2015	0.32%	0.17%	0.12%	-0.61%	-0.81%	-1.52%	-3.22%	-4.97%	-16.36%
2016	-1.47%	-0.73%	-0.51%	0.05%	0.07%	0.13%	1.69%	2.30%	4.02%
2017	-0.32%	-0.17%	-0.12%	0.28%	0.36%	0.64%	0.13%	0.18%	0.35%
2018	-0.19%	-0.10%	-0.07%	0.28%	0.37%	0.65%	0.05%	0.07%	0.14%
2019	0.03%	0.01%	0.01%	0.18%	0.24%	0.43%	0.12%	0.17%	0.32%
2020	0.40%	0.21%	0.15%	0.16%	0.21%	0.37%	0.14%	0.20%	0.39%
2021	0.48%	0.25%	0.18%	0.19%	0.25%	0.45%	0.18%	0.25%	0.48%
2022	0.50%	0.26%	0.18%	0.20%	0.26%	0.47%	0.19%	0.26%	0.50%

Fuente: Elaboración propia basada en información del BCE y EIA

4.2 Lista de variables

Para estimar el consumo eléctrico del Ecuador y conocer cuáles son las variables que influyen en esta proyección mostramos una descripción de estas variables para facilidad del lector. El área que se va analizar va ser la de los clientes regulados de energía eléctrica del sector residencial que comprende al servicio eléctrico destinado exclusivamente al uso doméstico de los consumidores, es decir, dentro de la residencia de la unidad familiar. También se incluye a los consumidores de escasos recursos y bajos consumos que tienen integrada a su vivienda una pequeña actividad comercial o artesanal. El barril de petróleo West Texas Intermediate (WTI) es la mezcla de petróleo crudo ligero que es cotizado en el New York Mercantile Exchange y sirve de referencia en los mercados de derivados de los EE.UU.

En lo que se refiere al combustible para la elaboración de energía eléctrica comprenden el fuel oil 6 que es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. De aquí se obtiene entre 30% y 50% de esta sustancia. Es el combustible más pesado de los que se pueden destilar a presión atmosférica. El IAE es un dato otorgado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en frecuencia mensual, la cual mide las variaciones y tendencias que tiene la producción de varios sectores, es decir, mide el desempeño de la actividad económica de los sectores productivos de la economía nacional. Otra variable a usar el caudal medio anual del embalse Amaluza donde se ubica la central hidroeléctrica más grande del Ecuador, con una potencia de 1100 MW.

Capítulo 5: Resultados

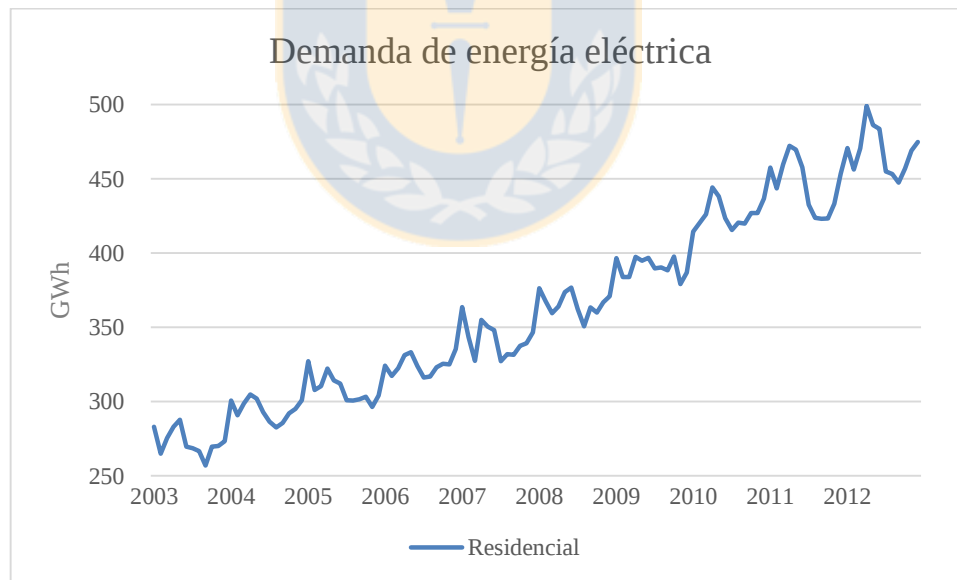
En este capítulo presentaremos la forma como fueron seleccionados los modelos ARIMA y ARIMAX para la demanda de la energía eléctrica ecuatoriana para clientes residenciales. Mostraremos pruebas, ilustraciones y tablas que justifiquen las regresiones de nuestras series de tiempo. Agregaremos las proyecciones de ambas metodología y comprobaremos el error cometido, la correlación de las series y su nivel de ajuste.

5.1 Modelo ARIMA para el consumo residencial de electricidad

Para empezar con la estimación del modelo ARIMA vamos a seguir los pasos ya discutido en el Capítulo 3 de Metodología, igualmente refrescaremos conceptos ya discutidos en ese capítulo a medida que construimos nuestros modelos. Como primer paso graficaremos la serie de demanda para el sector residencial.

Si observamos que las observaciones de la serie se dispersan entre parámetros diferentes, es decir, la varianza de la serie va aumentando o disminuyendo; se aplica una transformación logarítmica para corregir la no estacionariedad en varianza. Si la serie presenta tendencia a lo largo del tiempo, diferenciaremos en primer grado la serie para transformarla a estacionaria en media.

Figura 5.1 Consumo de energía eléctrica medido en GWh a frecuencia mensual del periodo 2004-2012



Fuente: Elaboración propia

A primera vista parece que la serie de demanda es no estacionaria ni en varianza ni en media. Aplicaremos logaritmo natural a las observaciones por dos motivos: asegurar la estacionariedad en varianza y para entregar elasticidades (esto último en modelos ARIMAX). Realizaremos el test de Dickey-Fuller de raíz unitaria para verificar la ausencia de estacionariedad en media, como se muestra a continuación:

Tabla 5.1 Test de Dickey-Fuller

	Prueba Estadística	Valor Crítico		
		1%	5%	10%
Residencial	-0,833	-3,508	-2,890	-2,580

Fuente: Elaboración propia

Si el valor del estadístico calculado es mayor al valor crítico correspondiente para cada nivel de significancia entregado, se rechaza la hipótesis nula. La tabla 5.1 nos recomienda que en la serie está ausente la estacionariedad en media al 1 por ciento, 5 por ciento y 10 por ciento de significancia. Ahora aplicaremos un grado de diferenciación al consumo residencial y así corregir la no estacionariedad en media; después procederemos a verificar la presencia de ésta volviendo a usar el test de Dickey-Fuller.

Tabla 5.2 Test de Dickey-Fuller en primera diferencia

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

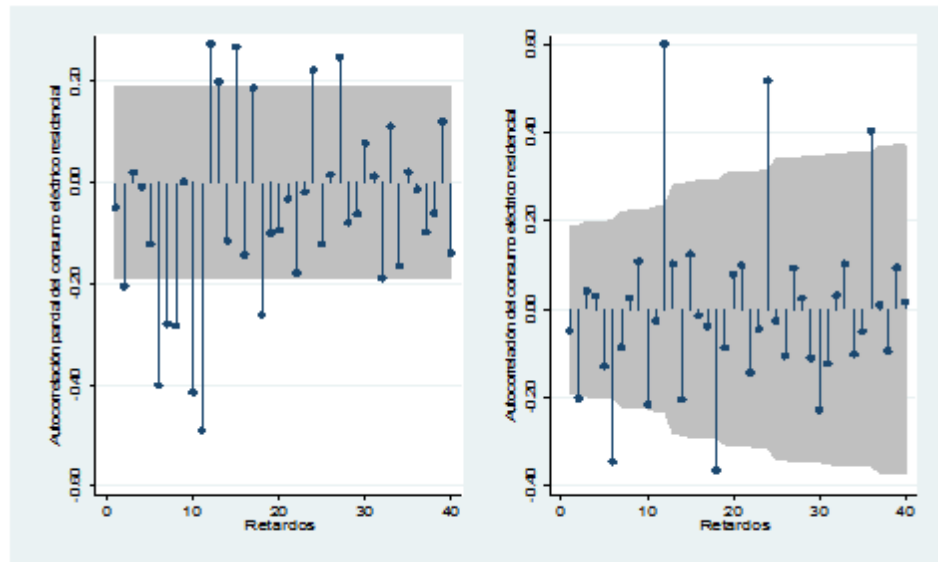
Fuente: Elaboración propia

La tabla 5.2 nos sugiere la presencia de estacionariedad en media, esto debido a que el valor del estadístico entregado por el test de Dickey-Fuller es menor a los valores críticos, podemos mencionar que hay estacionariedad en media a un nivel de significancia satisfactoria al 1 por ciento, 5 por ciento y 10 por ciento.

5.1.1 Modelación

Ahora realizaremos la construcción del modelo, primero realizamos el análisis del correlograma para las series estacionarias con la finalidad de escoger términos AR y MA.

Figura 5.2 Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación del consumo eléctrico residencial



Fuente: Elaboración propia

De cada correlograma se toman en cuenta los valores de PAC para los términos AR, y los valores de AC para los términos MA. Interactuaremos con diferentes combinaciones de los valores que sobresalen de las bandas del correlograma para modelar la demanda de energía eléctrica. Se presenta en la Figura 5.2 el correlograma del consumo residencial. Con los términos AR y MA obtenidos del correlograma de la series calcularemos la regresión ARIMA adecuada. Dado que más de una combinación puede dar rezagos satisfactoriamente significativos, seleccionaremos el modelo que tenga un menor valor Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC).

Presentamos en la Tabla 5.3 tres posibles modelos para la proyección de electricidad mediante la metodología ARIMA los cuales son:

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

En todos los modelos se captura el efecto de estacionalidad que viene en el rezago 12 del termino AR, además se aprecia que todos poseen un valor p significativo satisfactoriamente el cual se presenta debajo de los coeficientes entre paréntesis.

Tabla 5.3 Regresiones ARIMA del consumo eléctrico

	Residencial 1	Residencial 2	Residencial 3
Constante	0,0047 (0,264)	0,0047 (0,000)	0,0048 (0,000)
AR			
6		-0,1514 (0,081)	-0,4592 (0,000)
12	0,7230 (0,000)	0,6608 (0,000)	0,4972 (0,000)
MA			
1	-0,3241 (0,000)	-0,5049 (0,000)	-0,5266 (0,000)
3		-0,2452 (0,005)	-0,2448 (0,005)
6			0,5863 (0,000)
7			-0,5708 (0,000)
AIC	-492,28	-500,45	-510,64
BIC	-481,59	-484,41	-489,26

Fuente: Elaboración propia

El modelo finalmente escogido es Residencial 3 aunque cada uno tiene rezagos significativos, el modelo Residencial 3 posee menor valor AIC y BIC de -510,64 y -489,26 respectivamente. Después de seleccionar el modelo procederemos a predecir los residuos de este, para comprobar posteriormente su autocorrelación y normalidad. En caso de presencia de autocorrelación y/o no haber normalidad se ejecutará otra combinación de términos AR y MA que solucione este problema.

5.1.2 Comprobación

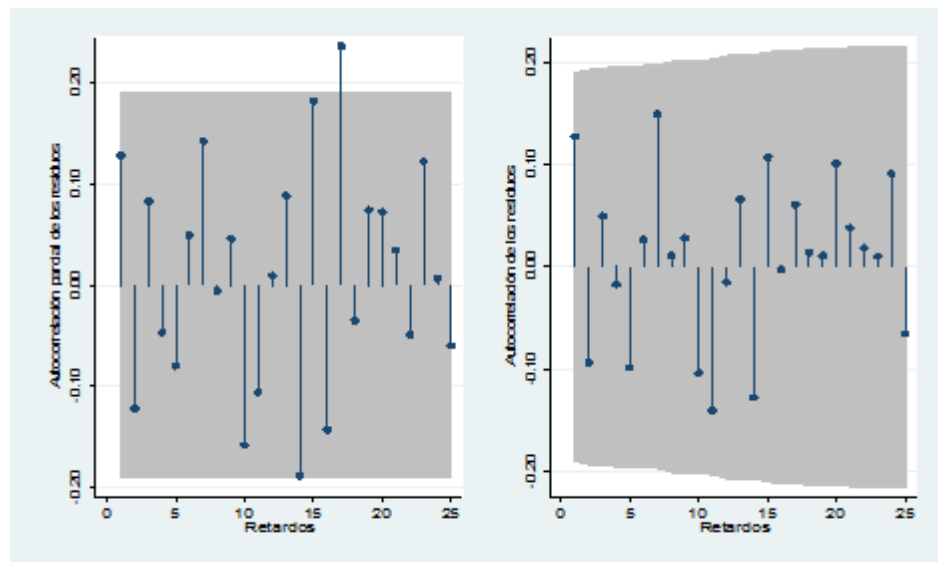
Ahora analizaremos si existe autocorrelación en los residuos. Se usará el test de Breush-Godfrey, donde si el valor del estadístico es mayor al 10 por ciento de significancia estadística no rechazamos la hipótesis nula, es decir, no tenemos evidencia necesaria para rechazar la no presencia de autocorrelación en los residuos. Además estudiaremos los correlogramas AC y PAC donde si las observaciones no salen de las bandas de confianza entonces no nos preocupamos por la presencia de autocorrelación.

Tabla 5.4 Test de Breush-Godfrey para los residuos

	Breush-Godfrey
Prob > χ^2	(0,5336)

Fuente: Elaboración propia

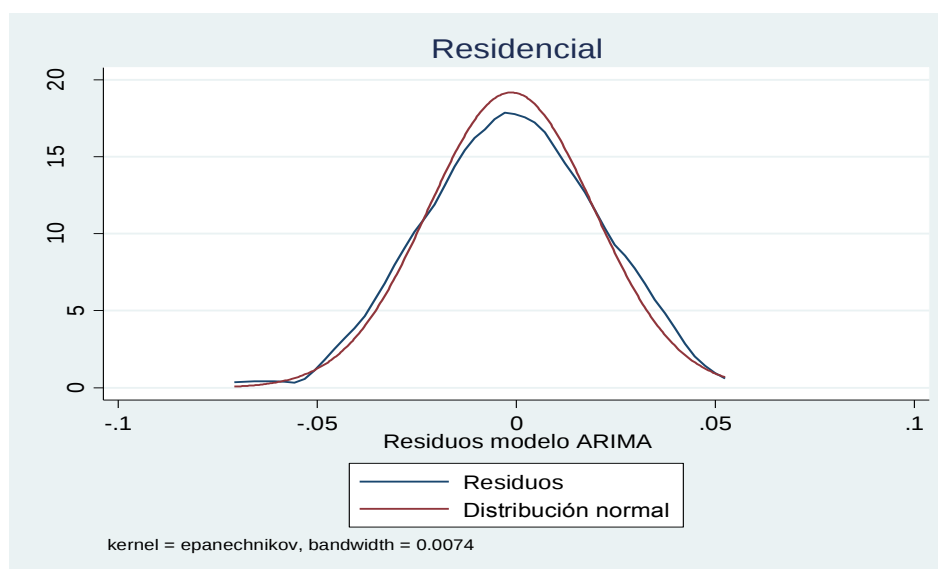
Figura 5.3 Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación de los residuos del consumo eléctrico residencial



Fuente: Elaboración propia

Debido al que el estadístico es de 53,36 por ciento, por ende tenemos evidencia suficiente para no negar la ausencia de autocorrelación. Además en la Figura 5.3 podemos ver que la mayoría de las observaciones no sobresalen de las bandas de confianza sugiriendo la ausencia de autocorrelación. Procederemos con el análisis de normalidad de los residuos mediante el test de Shapiro-Wilk, además observaremos el comportamiento de la asimetría y curtosis en los residuos. Con fines ilustrativos en la Figura 5.4, adjuntamos el comportamiento de los residuos y agregamos como se debería comporta si tienen una distribución normal, se ve que existe similitud de estas dos curvas. Este test deja muestra que los residuos siguen el comportamiento de una distribución normal.

Figura 5.4 Diagrama de densidad de los residuos



Fuente: Elaboración propia

Si la significancia mostrada en la Tabla 5.5 es superior al 10 por ciento, caemos en la zona de no rechazo de la hipótesis nula, es decir, no tendremos evidencia de rechazar la normalidad, no presencia de curtosis y presencia de simetría. Los valores para no rechazar la hipótesis nula de no presencia de curtosis es de 53,7 por ciento, de presencia de simetría es de 78,5 por ciento; la probabilidad conjunta de estas dos es de 79,4 por ciento es decir no puedo rechazar un comportamiento de distribución normal en los errores y esta conclusión corroborada por el test de Shapiro-Wilk donde no se rechaza la hipótesis nula de presencia de normalidad con un valor significativo estadísticamente de 74,1 por ciento.

El valor para sugerir simetría en los errores debe fluctuar entre -1 y 1 en nuestro caso el valor es de -0,13 dejando evidencia de simetría. Para rechazar la presencia de curtosis en los residuos los valores deben oscilar entre 2 y 4 para nuestro caso el valor es de 2,76 permitiéndonos rechazar existencia de curtosis en nuestros residuos.

Tabla 5.5 Test de normalidad para los residuos

	Asimetría	Curtosis	Prob> χ^2	Shapiro-Wilk
Residuos	-0,1381 (0,537)	2,7679 (0,785)	(0,794)	(0,741)

Fuente: Elaboración propia

Revisando todos los test que certifican la validez de nuestro modelo procederemos a definir la ecuación del consumo de energía eléctrica para clientes residenciales del Ecuador.

$$\begin{aligned} \Delta(\ln Y_t) = & 0,0048 - 0,4592\Delta(\ln Y_{(t-6)}) + 0,4972\Delta(\ln Y_{(t-12)}) \\ & - 0,5266u_{(t-1)} - 0,2448u_{(t-3)} + 0,5863u_{(t-6)} \\ & - 0,5708u_{(t-7)} + u_t \end{aligned} \quad (1)$$

Dónde:

Δ : Ordenador de primera diferencia.

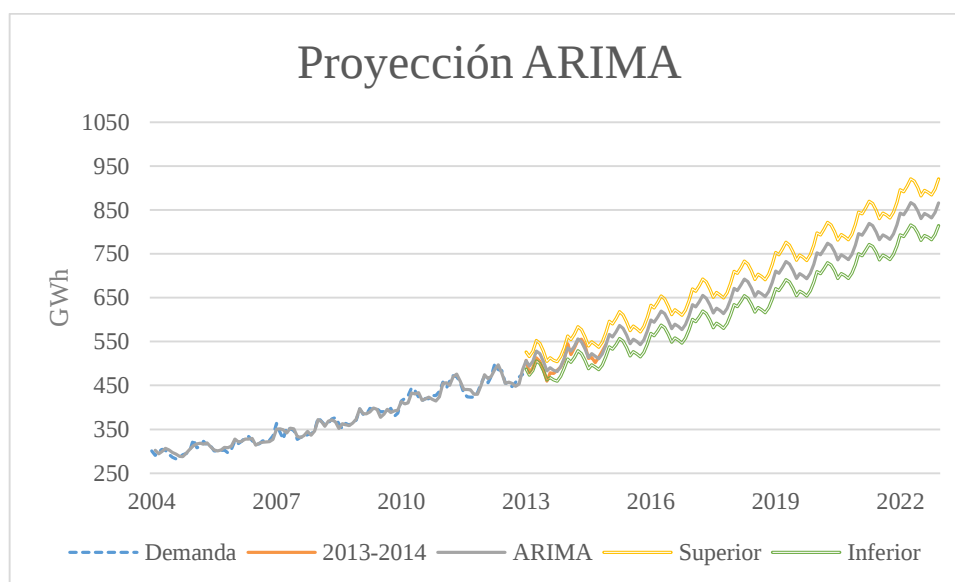
Y : Demanda del sector residencial.

$Y_{i_{t-j}}$: Consumo del sector i de rezago j.

u_{t-j} : Error rezagado de orden j

Tomando los valores históricos del consumo de electricidad residencial del Ecuador usado en esta investigación ampliamos el rango de muestra y generamos las proyecciones de la variable consumo de electricidad. El alcance que tendrá nuestra proyección será de diez años desde Enero del 2013 a frecuencia mensual. Además adjuntaremos la demanda de electricidad del año 2013 y 2014 para contrastar con la realidad, podremos calcular el coeficiente de correlación, el nivel de ajuste medido por R cuadrado y los errores cuadráticos medios. Agregaremos bandas de confianza a un nivel de significancia del 95 por ciento por debajo y arriba de la proyección.

Figura 5.5 Proyección ARIMA del consumo eléctrico a frecuencia mensual para el periodo 2004-2022



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.5 podemos ver que la serie 2013-2014 (color naranja) la cual representa el valor real del consumo de energía no sale de las bandas de confianza a un nivel del 95 por ciento. La serie ARIMA (color gris) representa los valores estimados y proyectados; en el periodo de comparación con la serie 2013-2014 se aprecia que tiene la misma tendencia y forma, ambas series poseen una correlación de 94,28 por ciento como se muestra en la Tabla 5.6. Finalizando la proyección ARIMA del consumo de electricidad, podemos ahora probar 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.

Tabla 5.6 Estadístico de ajustes

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%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.6 podemos analizar el error en las proyecciones que fueron de 1,73 por ciento, la categoría Proyectado se refiere a los valores que van desde enero del 2013 hasta diciembre del 2014. La categoría Estimado de dicha tabla representa los valores del consumo de electricidad que va desde enero del 2004 hasta diciembre del 2012; el error cometido es muy bajo con un porcentaje del 1,68 por ciento y una fuerte correlación con los valores reales del consumo de 99,16 por ciento. Por último se deja el error cometido y la correlación que tiene los valores Proyectados junto al Estimado, valores que van desde enero del 2004 hasta diciembre del 2014, con los valores reales del consumo de electricidad; que son de 1,69 por ciento y 99,41 por ciento valores muy buenos para nuestra proyección.

El R^2 que se muestra en la Tabla 5.6 muestra el grado de ajuste que tiene las observaciones con los datos estimados, que es muy cercano al 100 por ciento con un porcentaje del 98,30 por ciento, lo que sugiere que la serie está correctamente estimada. En la Tabla A.1 situada en la sección de Anexos mostraremos los resultados más detallados de las proyecciones para la metodología ARIMAX.

5.2 Modelo ARIMAX para el consumo residencial de electricidad

Recordemos que antes de empezar con la estimación del modelo ARIMAX vamos a seguir los pasos ya discutido en el Capítulo 3 de Metodología, igualmente refrescaremos conceptos discutidos en ese capítulo a medida que construimos nuestros modelos. Procedemos a estudiar la existencia de estacionariedad en media y varianza de la serie, si no es estacionaria aplicaremos las diferentes transformaciones para corregir estos problemas. Este paso es el mismo que se elabora para la metodología ARIMA y contienen los mismos resultados por ello podemos observar su no estacionariedad en la tabla 5.1 donde se muestra el contraste del test de Dickey-Fuller. Una vez ya realizado la transformación logarítmica, nos aseguramos la obtención de las elasticidades precio e ingreso de la demanda.

Luego de aplicar la logaritmo natural y diferencia de 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 esta causalidad se retira la variable exógena del posible modelo. Se verifica esta causalidad haciendo uso del test de Granger donde si no se rechaza la hipótesis nula entonces no hay evidencia que la variable exógena cause a la variable endógena. Se verá la causalidad individualmente y en bloques.

Tabla 5.7 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

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5.7 podemos rescatar las variables precio medio de electricidad para clientes residenciales, índice de actividad económica como variable proxy del ingreso, precio del barril de petróleo WTI y el precio del combustible fuel oil 6 (estas últimas dos como insumo para la generación de electricidad) como variables explicativas del consumo de electricidad residencial para Ecuador. Las variables número de clientes residenciales y caudal saldrán de nuestra modelación según lo sugerido por el test de Granger, estas variables no condicionan al consumo de electricidad lo que significa que no poseen valor predictivo para nuestro modelo.

5.2.1 Modelación

Ahora nuestro modelo se simplifica en variables explicativas, ejecutaremos regresiones con las variables explicativas, los rezagos de la variable dependiente y rezagos del término de error. Debemos acordarnos que más de un modelo nos puede dar valores significativos, por ello escogeremos el que tenga menor valor AIC y BIC.

Antes de empezar agregaremos una variable muda. La variable muda a usar va ser dicotómica con observaciones que tomen el valor de uno o cero. Esta variable nos permitirá capturar el cambio estructural que sufre el precio medio en el periodo que se desencadenó la desaceleración económica mundial para el año 2008.

Mostramos en la Tabla 5.8 tres posibles regresiones mediante la metodología ARIMAX; los tres modelos toman como variables explicativas el precio medio de la electricidad, el índice de actividad económica, el barril de petróleo WTI, el precio del barril del fuel oil 6 y la variable muda. Los diferentes rezagos de cada modelo los presentamos a continuación:

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

En los modelos Residencial 1 y Residencial 2 se captura el efecto de estacionalidad que viene en el rezago 12 del término AR, además se aprecia que todos poseen un valor p significativo satisfactoriamente el cual se presenta debajo de los coeficientes entre paréntesis.

Tabla 5.8 Regresiones ARIMAX del consumo eléctrico

	Residencial 1	Residencial 2	Residencial 3
P	-0,2257 (0,177)	-0,1199 (0,489)	-0,1879 (0,028)
IAE	0,0591 (0,091)	0,0870 (0,007)	0,1385 (0,000)
B	-0,0124 (0,454)	-0,0113 (0,426)	-0,0251 (0,021)
F	-0,0011 (0,974)	0,0071 (0,828)	-0,2051 (0,411)
Muda	-0,0003 (0,939)	0,0075 (0,134)	0,0081 (0,000)
Constante	0,0048 (0,000)	0,0042 (0,009)	0,0043 (0,000)
AR			
6		-0,9377 (0,000)	-0,4385 (0,003)
12	0,9444 (0,000)		0,4861 (0,000)
MA			
1	-0,2269 (0,068)	-0,3427 (0,000)	-0,7610 (0,000)
3	-0,2792 (0,018)		-0,4106 (0,003)
6		1,0599 (0,000)	0,6866 (0,000)
7		-0,5606 (0,000)	-0,8423 (0,000)
12	-0,4893 (0,002)	0,5135 (0,000)	0,3370 (0,047)
AIC	-500,51	-500,59	-525,13
BIC	-471,12	-468,52	-487,71

Fuente: Elaboración propia

Seleccionaremos la regresión Residencial 3 ya que posee menor valor AIC y BIC, además que la mayoría de las variables tienen coeficientes estimados con significancia satisfactoria, al igual que los términos AR y MA. De la regresión Residencial 3 la variable fuel oil 6 no presenta un nivel de significancia satisfactoria. Como lo mencionado en el Capítulo 4 sobre su poca variabilidad ahora dejamos evidencia numérica de que no es un representante para estudiar el consumo de energía eléctrica. Mencionamos que si no existiría esta rigidez en el precio del fuel oil 6, este se comportaría como el precio del barril de petróleo WTI ocasionando una alta colinealidad de estas variables y desembocando en que la regresión se debería omitir una o ambas variables. Por estos motivos más adelante omitiremos la variable fuel oil 6 de nuestra regresión

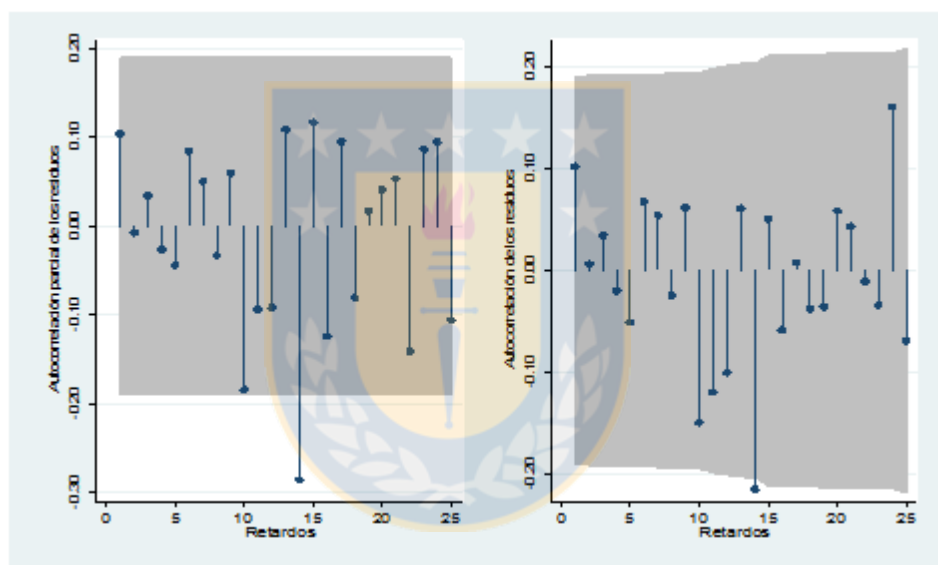
5.2.2 Comprobación

Teniendo el posible modelo empezamos a examinar su correlación serial (i.e. autocorrelación) en los residuos, observando las gráficas de AC y PAC de los residuos. Si varias observaciones salen de la banda de confianza entonces deberemos incorporar más términos significativos de AR y MA. Además de un análisis grafico podemos testear su autocorrelación mediante el test de Breush-Godfrey.

Tabla 5.9 Test de Breush-Godfrey para los residuos

Breush-Godfrey	
Prob > χ^2	(0,3159)
Fuente: Elaboración propia	

Figura 5.6 Diagrama de autocorrelación parcial y autocorrelación de los residuos del consumo eléctrico residencial



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.9 enseñamos que el nivel de significancia que es de 31,59 por ciento esto nos dice que no se rechaza la hipótesis nula de no presencia de autocorrelación, entonces el test de Breush-Godfrey nos sugiere la ausencia de autocorrelación. Además en la Figura 5.6 la gran mayoría de las observaciones no sobresalen de manera significativa de las bandas de confianza, esto deja en evidencia la ausencia de autocorrelación. Comprobando la ausencia de autocorrelación, vemos nuestra regresión en la Tabla 5.8 y si hay variables explicativas no significativas la eliminaremos del posible modelo.

Tabla 5.10 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

Fuente: Elaboración propia

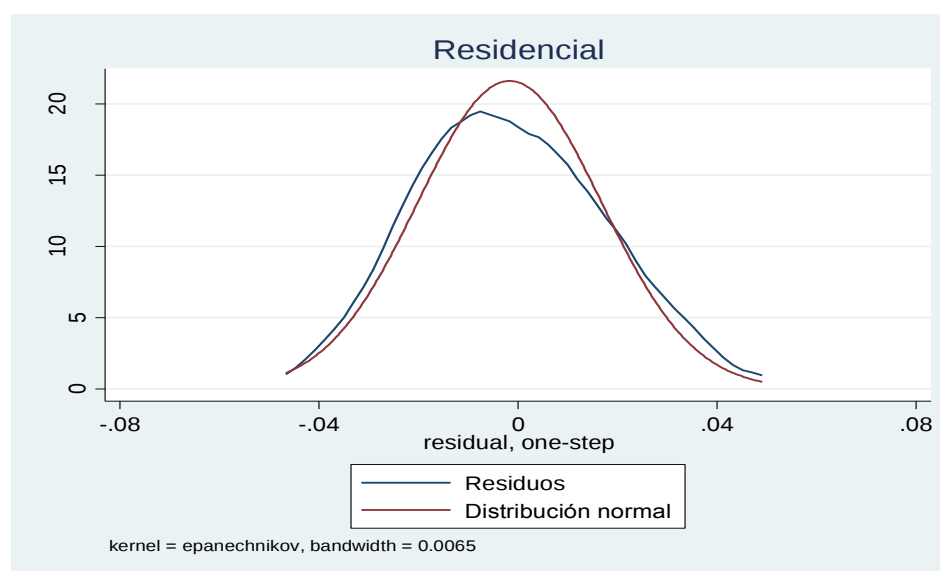
Retirando las variables exógenas no significativa volvemos obtener los residuos y empezaremos a comprobar la normalidad de estas por medio de los gráficos de densidad. Además de test de normalidad ya citados.

Tabla 5.11 Test de normalidad para los residuos

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

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.7 Diagrama de densidad de los residuos



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.11 mostramos los valores de curtosis y asimetría que caen en la zona de no presencia de curtosis y asimetría con valores de 24,9 por ciento y de 35,8 por ciento respectivamente, además se puede rechazar la hipótesis nula conjunta de estas con un valor de 32,4 por ciento; entonces podemos sugerir que los residuos siguen el comportamiento de una distribución normal. Esto corroborado por el test de Shapiro-Wilk donde caemos en la zona de no rechazo de la hipótesis nula con un valor de 53,9 por ciento, es decir, no tendremos evidencia para rechazar la normalidad.

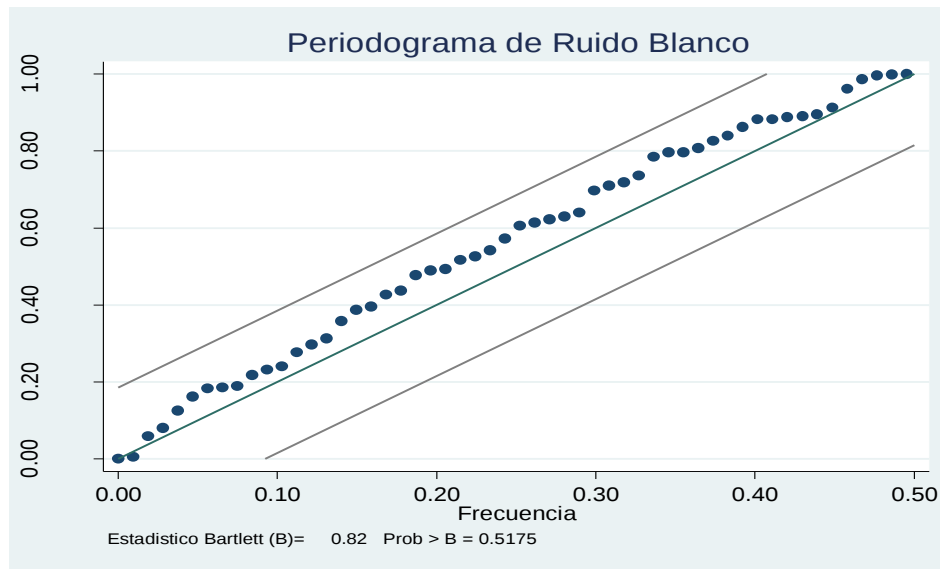
Evalutando la mayoría de los test que nos certifican la eficiencia de nuestra regresión nos tocara hacer el último de ellos, para saber si los residuos se comportan como ruido blanco. Usando el test de Portmanteau, si el valor del estadístico es mayor al 10 por ciento de significancia no rechazamos la hipótesis nula, es decir, no tenemos evidencia suficiente para rechazar un comportamiento de ruido blanco en los residuos. Además, con fines ilustrativos agregamos el periodograma de Bartlett.

Tabla 5.12 Test Portmanteau para los residuos

	Residencia
Estadístico Portmanteau (Q)	33,7689
Prob > $\chi^2(40)$	(0,7457)

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.8 Diagrama de Bartlett para los residuos



Fuente: Elaboración propia

Con un nivel del 74,57 por ciento, mostrado en la Tabla 512, no podemos rechazar la hipótesis nula de presencia de ruido blanco. El test nos sugiere que los residuos se comportan con media cero, varianza constante y covarianza nula. En la Figura 5.8 se muestra el periodograma de Bartlett, donde si ninguna de las observaciones salen de las bandas de confianza se puede llegar a la conclusión de que los residuos siguen un comportamiento de ruido blanco, lo que es así para nuestros residuos.

Finalizando nuestros filtros escribiremos la regresión idónea que usaremos para proyectar el consumo de electricidad para clientes residenciales del Ecuador. La regresión es la siguiente:

$$\begin{aligned} \Delta(\ln Y_t) = & 0,0043 - 0,2272\Delta(\ln P) + 0,1380 \Delta(\ln IAE) - 0,0283 \Delta(\ln B) \\ & - 0,0003 Muda - 0,4332\Delta(\ln Y_{(t-6)}) + 0,4935\Delta(\ln Y_{(t-12)}) \\ & - 0,7581u_{(t-1)} - 0,4343u_{(t-3)} + 0,6876u_{(t-6)} - 0,8102u_{(t-7)} \\ & + 0,3241u_{(t-6)} + u_t \end{aligned} \quad (2)$$

Dónde:

Δ : Ordenador de primera diferencia.

Y : Consumo de energía eléctrica de los clientes residenciales.

P : Precio medio de la energía eléctrica para clientes residenciales.

B : Precio del barril de petróleo WTI.

IAE : Índice de la actividad económica.

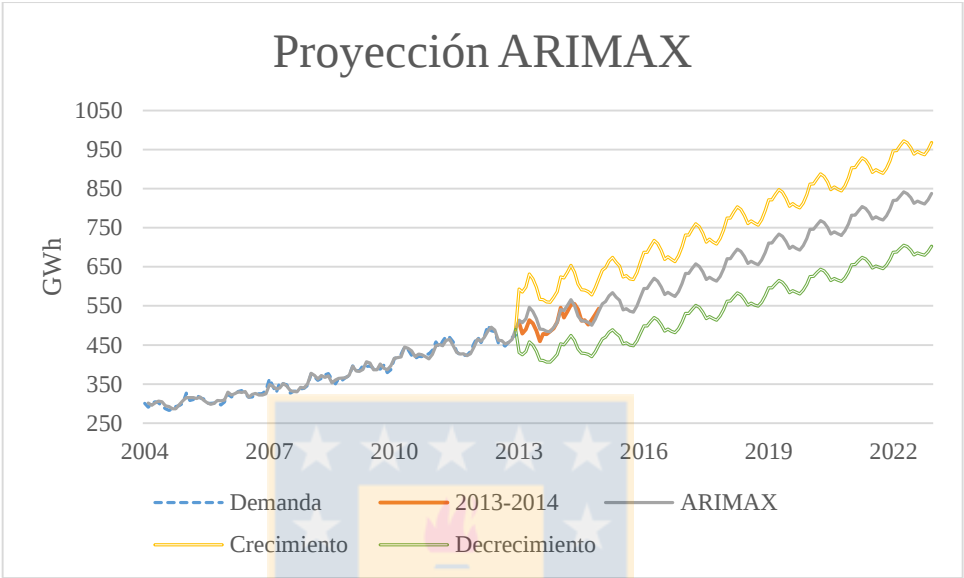
$Muda$: Variable muda.

Y_{t-j} : Consumo de clientes residenciales rezago de orden j .

u_{t-j} : Error rezagado de orden j .

Teniendo el modelo adecuado, más los supuestos de la proyección y los porcentajes de crecimiento de las variables explicativas podemos realizar la proyección del consumo de electricidad. Para ello, en la siguiente figura se muestra los tres escenarios ya antes descritos. Luego de ello mostraremos estadísticos de ajustes que califiquen el nivel de nuestra proyección.

Figura 5.9 Proyecciones del modelo ARIMAX para el consumo a frecuencia mensual para el periodo 2004-2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.13 Estadístico de ajustes

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%

Fuente: Elaboración propia

A primera vista se aprecia que la proyección, estipulada en la Figura 5.9, de la serie ARIMAX (color gris) tiene un comportamiento y tendencia similar a la serie 2013.2014 (color naranja) que son los valor reales del consumo de energía. En la Tabla 5.13 se muestra que las series comparten una correlación de 80,87 por ciento y un error de 2,68 por ciento; estos valores hacen referencia al periodo que va de enero 2013 hasta diciembre del 2014.

En la Tabla 5,13 para la categoría Estimados, que son los valores que van desde enero 2004 hasta diciembre del 2012, muestra una correlación con la serie demanda de un 99,34 por ciento y un error cometido del 1,52 por ciento. El ajuste (R^2) que es de 98, 68 por ciento es muy cercano al 100 por ciento, entonces dejamos evidencia de que las proyecciones son correctas. En las tablas A.2, A.3 y A.4 situada en la sección de Anexos mostraremos los resultados más detallados de las proyecciones para la metodología ARIMAX.

Capítulo 6: Discusión y Conclusiones

En este capítulo entregaremos conclusiones de la investigación, interpretaremos además las elasticidades que entrega el modelo, compararemos los dos métodos para calcular la proyección, implicaciones para la política económica y recomendaciones para futuros trabajos.

6.1 Elasticidades

Nuestra investigación después de los resultados obtenidos es capaz de entregar elasticidades precio e ingreso de la demanda como lo estipulamos en los objetivos específicos, dicha elasticidades que va a tener el consumo de energía eléctrica y en qué medida porcentual variarán hace referencia al corto plazo. El signo negativo de la elasticidad precio de la demanda coincide con la literatura, 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 que es significativo estadísticamente. Bajo el esquema de la teoría del consumidor, la señal de precio es efectiva para los clientes residenciales.

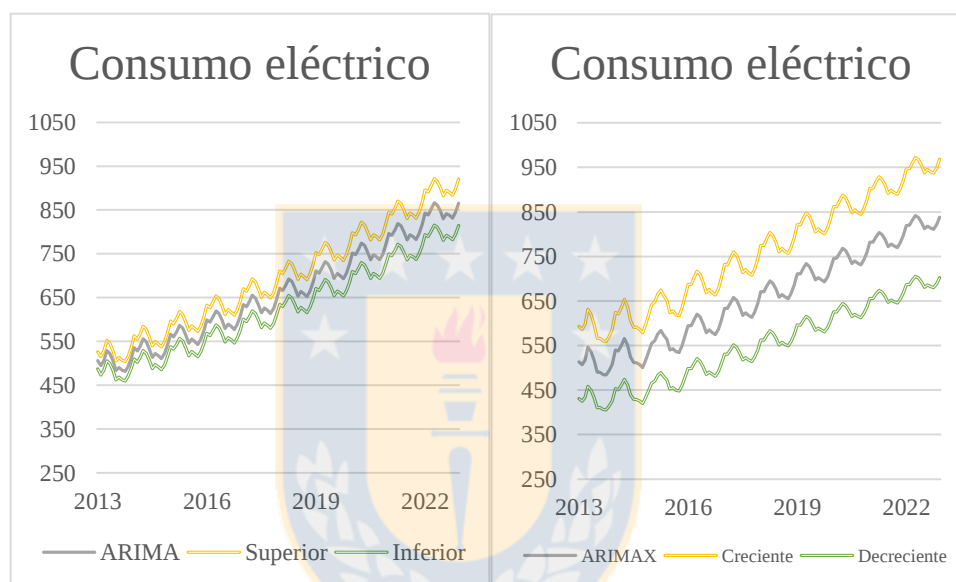
Los coeficientes del índice de actividad económica, como variable proxy del ingreso, tiene valor positivo como era de esperar; siendo su valor de 0,13. Por cada aumento del 1 por ciento en el índice, el consumo de energía eléctrica aumenta en un 0,13 por ciento; la cual constituye una señal fuerte de respuesta al consumo ante variaciones del índice. El precio del barril de petróleo WTI es determinante para el consumo de energía eléctrica para clientes residenciales. Se ve que cuando el precio del petróleo decreció por la crisis hipotecaria el consumo de energía eléctrica en Ecuador creció, lo que deja una relación indirecta según la teoría económica. Siendo el cambio al consumo eléctrico de 0,02 por ciento por cada incremento del 1 por ciento en precios del barril de petróleo WTI, siendo inelástica.

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. Mas pesa la relación inversa en el consumo de electricidad que la relación directa, es decir, 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 aumentar el ingreso a los hogares ecuatorianos. En la metodología ARIMAX estimamos el consumo de energía eléctrica para clientes residenciales dejando evidencia el grado en el que responde a cambios del precio medio del kWh y al ingreso de las familias; además del precio del petróleo WTI. Se nos reveló que la elasticidad precio posee 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

Con la proyección del consumo de energía eléctrica residencial en Ecuador con dos metodologías cumplimos con el objetivo general de la investigación. La ventaja de los modelos de serie de tiempo es su simple estructura, por el hecho de no recurrir a observaciones de diferentes variables pues son suficientes los datos de la variable endógena. Pero igualmente se presenta una desventaja, la cual no deja adicionar los efectos de factores exógenos, por lo que su exactitud se reduce. Este inconveniente lo superamos con la metodología ARIMAX, donde mezclamos las variaciones de la serie de tiempo más variables que sean capaces de explicar el consumo de electricidad.

Figura 6.1 Comparación de proyecciones para las metodologías ARIMA y ARIMAX



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6.1 podemos realizar una comparación grafica de las proyecciones del consumo de electricidad para el caso univariado como para el multivariado. Apreciamos que existe mayor ruido en las proyecciones ARIMAX, esto por el motivo que para generar estas proyecciones se tiene que recurrir a predicciones de las variables exógenas, esto incrementa la incertidumbre de las proyecciones ya que se traslada parte del error de estas predicciones a nuestra proyección.

Además, vemos que las proyecciones ARIMA son un poco más altas que las ARIMAX, Comprobamos gráficamente 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. Para la proyecciones ARIMA es suficiente conocer los valores pasados de la variable estudiada, en cambio para las proyecciones ARIMAX necesitamos proyecciones de las variables exógenas significativas las cuales las encontramos en el Banco Central del Ecuador y del Independent Statistics & Analysis U.S. Energy Information Administration. 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, debido al mayor número de variables. 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 la metodología (valores entre enero 2003 hasta diciembre 2014), 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. Comparando los resultados obtenidos del modelo frente a los valores reales del consumo de electricidad, cumplimos con lo propuesto en objetivo específico.

6.3 Implicaciones para la política económica

Cumpliendo con la estimación de los factores que determina el consumo de electricidad, como lo estipulado en objetivos específicos, 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 en el precio de la electricidad. Por ejemplo, se puede cobrar un mayor precio por kW consumido, si este es alto provocara que los clientes residenciales tengan incentivos a consumir menos. Esto actualmente se hace a través de una estrategia llamada “Tarifa de la Dignidad” donde se castiga con mayor precio por kW consumido quienes demanden más energía y se premia con valores reducido del kW consumido quienes demanden poca electricidad.

Para motivar al ahorro de energía electricidad 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. Esto genera que las familias ocupen la misma cantidad de iluminación, habiendo una reducción en el consumo eléctrico lo que provoca que ese excedente de energía eléctrica pueda ser ocupado para productividad de 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.

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 estas se desplace a

la derecha (aumente) lo que facilita la 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, 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 un país exportador de esta forma de 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 usar otras fuentes de generación más sostenibles a largo plazo. El petróleo es el principal insumo para la generación de electricidad. 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 remplazara esta generación de energía, además se usa otras fuentes como la solar, eólica y de biomasa. Para el año 2017 Ecuador contara 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. El río Jondachi se conservaba en un buen estado, la cual se ha convertido 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.

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 es que el caudal del río esta 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 amenazará una cascada emblemática del Ecuador ubicada 19 kilómetros río debajo 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 especies de flora y fauna. La vegetación se encuentra alterada

altamente por el avance de la colonización y desforestación, se ha generado la desaparición y fragmentación de áreas boscosas ocasionando pérdida del hábitat de especies de flora silvestre. La población del área concentra su actividad económica en la producción agrícola y ganadera, lo que se ve afectada ya que el agua que se va a entregar va tener menos nutrientes llegando en baja proporción.

6.4 Conclusiones

La investigación se enfoca en el sector eléctrico ecuatoriano para clientes residenciales o doméstico, debido a su repercusión socioeconómica y por su gran participación que es de 34,7 por ciento al consumo de electricidad ecuatoriano. Los resultados obtenidos, como era de esperar, muestran que el consumo de energía eléctrica para clientes residenciales presenta un comportamiento estacional mensual; esto se debe por los feriados y celebraciones además de las estaciones muy marcadas de verano e invierno donde el consumo de electrodomésticos que climatiza los hogares aumenta.

Una gran fortaleza que presenta esta investigación sobre las proyecciones de consumo eléctrico es su marcada estacionalidad, debido a que en las estimaciones se toman los rezagos número seis y doce que tienen implicancia estacional. Para los agentes productores de electricidad conocer en qué mes del año se consume más o menos electricidad es primordial para dar mantenimientos a maquinas o cambiarlas; además se aprecia el nivel de tendencia que va a crecer la energía por ello estos mismos agentes pueden tomar mejores decisiones de adquirir generadores de electricidad 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 más a grandes instituciones financieras fuera de Latinoamérica, en nuestra región (Latinoamérica) no hubo tanto impacto en instituciones financieras pero se vio reflejada en los precios del petróleo donde paulatinamente a 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 positiva pero a un nivel del 29 por ciento, existe correlación pero no es fuerte. La incorporación de variables mudas tuvo como objetivo mejorar la normalidad de los residuos, la cual presenta un nivel satisfactorio de significancia estadística para realizar proyecciones. Las variables mudas incorporan términos binarios para diferenciar las observaciones que provocan desajustes a la serie de tiempo y variables atípicos; entonces no se eliminan los cambios estructurales que sufre el precio medio de energía eléctrica para clientes residenciales si no se incorporan estos cambios.

La proyección del consumo es una actividad importante para los entes participantes del sector eléctrico. Si se sobreestima la demanda se genera sobrecostos operativos del despacho energético por el contrario, una subestimación produce 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 mediante compras adecuadas de insumos, realizar mantenimientos de unidades en el momento adecuado, etc.

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:

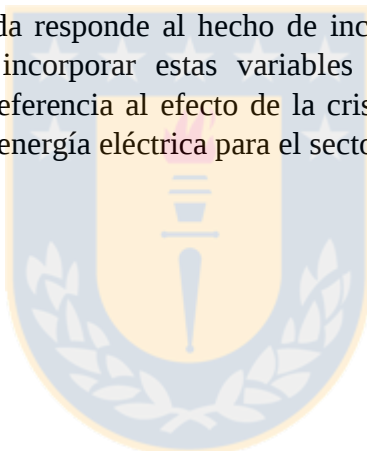
- Desmejoramiento del nivel de vida de la población.
- Pérdidas en sectores: Comercial, Agro, Extracción, Industrial. Provocando disminución de fuentes de trabajo.
- Inseguridad pública, por falta de iluminación en vías.
- Complicaciones con el tránsito, falta de señalización.
- Afecciones a los sistemas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

Por ello, conocer como varía 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; algo que no se hace ya que varios pueblos de Ecuador que cuentan con electricidad (mucho antes del año 1999) 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 se puede alcanzar desde un enfoque integral microeconómico, donde la solución tenga como base un seguimiento econométrico que deje en evidencia la conducta de las variables que participan en la problemática. En esta investigación entregamos un aporte a esta dirección.

6.5 Recomendaciones

- Si se desea realizar proyecciones del consumo de energía eléctrica, se debe mantener las estimaciones y proyecciones para cada categoría de clientes; esto permite una modelación más enfocada.
- Se recomienda una actualización continua de observaciones, incorporando datos más recientes para el consumo de energía eléctrica y para las variables explicativas.
- Las metodologías usadas son dependientes de las observaciones que se ingresen, motivo por el cual los datos que se usen deben ser confiables, representativos y consistentes para disminuir la incertidumbre de la serie.
- Para futuras proyecciones se recomienda usar más variables exógenas adicionales que posean relación con el consumo y que sean significativas para el pronóstico.
- El uso de variable muda responde al hecho de incorporar cambios significativos en la variable, si se desea incorporar estas variables deberá estar justificado. Para esta investigación se hace referencia al efecto de la crisis financiera la cual fue limitada, al estudiar el consumo de energía eléctrica para el sector residencial de Ecuador.



Referencias Bibliográficas

- Asafu-Adjaye, J. (2000). "The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries". The University of Queensland. Department of Economic. Australia.
- Athukorala, W. and Wilson, C. (2010). "Estimating short and long-term residential demand for electricity: new evidence form Sri Lanka". *Energy Economic*, 32 (1). pp. 34-40.
- Banco Central del Ecuador (2014). "Previsiones Macroeconómicas del Ecuador 2015-2018". Banco Central del Ecuador
- Barrientos, F., Olaya, J. y González, V. (2007). "Un modelo spline para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica. Universidad del Valle". Facultad de Ingenierías. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística. Cali, Colombia.
- Bastos, P., Castro, L., Cristia, J., and Scartascini, C. (2014). "¿Does energy consumption respond to price shocks? Evidence from a regression-discontinuity design". Inter-American Development Bank. Working Paper Series No. IDB-WP-234.
- Belke, A., Dreger, C. and De Haan, F. (2010). "Energy consumption and economic growth: new insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*". Elsevier, Vol. 33(5). pp. 782-789.
- Benavente, J. M., Galetovic, A. Sanhueza, R. y Serra, P. (2004). "Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: A Doña Juanita le Importa el Precio". Centro de Economía Aplica. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile. Chile.
- Consejo Nacional de Electricidad (Ecuador). (2004). Plan de electrificación del Ecuador, 2004-2013. Consejo Nacional de Electricidad.
- Dergiades, T. and Tsoulfidis, L. (2008). "Estimating residential demand for electricity in the United States, 1965-2006". *Energy Economic*, 30. pp. 2722-2730.
- Díaz, R. (2009). "Estudio Sobre la Factibilidad de la Implementación de un Modelo de Comprador Único o Monopsonio en el Mercado Eléctrico Mayorista de Ecuador". Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Engle, R. and Granger, C. (1987). "Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing". *Econometrica*, vol. 55, issue 2. pp. 251-276. *IEEE Transactions on Power Systems*, VOL. 18, NO. 3. pp. 342-348.

- Eras, A. (2012). “Estudio Energético del Sistema Eléctrico en Ecuador. Impulso a la Energía Solar Fotovoltaica”. Máster en Energías Renovables y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Gujarati, D. (2004). “Basic Econometrics”. 4th Edition, Mc Graw Hill.
- Independent Statistics & Analysis U.S. Energy Information Administration (2015). “Annual Energy Outlook 2015 with projections to 2040”. Independent Statistics & Analysis U.S. Energy Information Administration
- Fernández, L. (2007). “Modelos Avanzados Para La Predicción A Corto Plazo De La Producción Eléctrica En Parques Eólicos”. Tesis Doctoral. Departamento De Ingeniería Eléctrica. Universidad De La Rioja.
- Jiménez N. (2011). “La Nueva Matriz Energética Del Ecuador al 2020 Y Su Relación Con La Ing. Electromecánica”. Vinculación Con La Colectividad No. 1. Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. Universidad de Loja.
- Klaus Schwab. “The Global Competitiveness Report 2013-2014”. World Economic Forum.
- Larrea, C. (2012). “¿Es Sustentable la Política energética en el Ecuador?”. Universidad Andina Simón Bolívar. Quito, Ecuador.
- Mendoza, J. (2010). “Estimación de la Demanda de Energía Eléctrica de la Empresa ELECTRICARIBE S.A. de la Ciudad de Santa Marta, Durante el Periodo Comprendido entre 1998-2006”. Tesis de Magíster en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia.
- Murillo, J., Trejos, A. y Carvajal, P. (2003). “Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica utilizando modelos de series de tiempo”. Scientia et Technica. Año IX, 23, 37-42.
- Rueda, V. (2011). “Predicción del Consumo de Energía en Colombia con Modelos no Lineales”. Tesis de Maestría en Ingeniería Administrativa, Universidad Nacional de Colombia.
- Velasquez, J., Dyner, I. y Souza, R. (2008). “Modelado del precio spot de la electricidad en Brasil usando una red neuronal autorregresiva”. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 16 N° 3, 2008, pp. 394-403
- Zapata, J. (2011). “Impacto del PIB, del gas natural y de los precios de la electricidad, en el Consumo de Energía Eléctrica en Colombia”. Tesis de Maestría en Economía, Universidad EAFIT.

Anexo

Tabla A.1 Proyecciones del consumo eléctrico para el periodo 2013-2022 modelo ARIMA en kWh

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	506277216	535437472	566444736	599344768	634233152	671222784	710440192	752017792	796098560	842830656
Febrero	494282432	528211168	560670400	594101312	629269888	666479616	705905792	747698496	792003264	838973312
Marzo	505238272	539441408	572077696	605667584	640997312	678376320	717984256	759970048	804481664	851670080
Abril	528572992	555718656	586486976	619658112	654981440	692475520	732243008	774408000	819116544	866516992
Mayo	522482688	549286272	580091072	613409216	648916992	686613696	726593152	768984064	813925824	861574528
Junio	505257536	533407968	564713344	598307712	634034752	671941376	712137408	754752384	799932672	847828864
Julio	483359456	513449184	545395392	579276224	615200768	653288384	693669248	736480064	781868928	829986944
Agosto	490086176	522667072	555431488	589671424	625832256	664130752	704721984	747751296	793368512	841730176
Septiembre	484300736	517009568	549916288	584308608	620633984	659108288	699886272	743116224	788947136	837535936
Octubre	481571456	510954048	543030784	577298560	613702976	652320896	693272448	736692224	782728384	831536640
Noviembre	492775360	522040416	554217664	588652160	625247616	664072512	705241024	748890240	795166784	844228800
Diciembre	511744064	541681856	574179840	608842304	645649024	684684736	726072256	769951232	816469568	865785152

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2 Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Decreciente para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	430488096	452967808	465153536	498578336	530769312	561981952	595905792	625154560	655331328	686918912
Febrero	425128800	450856896	470178144	498498464	530754112	562375488	595993280	625431296	655834048	687656960
Marzo	433496352	461702752	482499136	509936640	541728384	573282496	606149504	635274368	665417728	697020672
Abril	458072160	474195808	489255872	520283936	551524416	583028352	615157312	644015680	673951424	705380928
Mayo	449259392	461961728	480200192	514495168	545954304	578089664	610131520	639444032	669859392	701768320
Junio	433961280	439546752	472767104	502004960	533907744	566908416	599131072	629185856	660355264	693006720
Julio	411038720	429052768	452675040	485274400	517768448	551746432	584306368	615255872	647333440	680875520
Agosto	410537280	428645408	455372544	490416256	522754816	556949568	589004800	619927680	652021120	685602112
Septiembre	406415072	425506016	449419648	485180000	517660800	552403520	584354304	615682048	648209408	682230080
Octubre	405943264	419780992	447758048	481397888	513917504	549140608	580930368	612600128	645503744	679908736
Noviembre	414866656	432689312	460370528	491783840	523934688	559210432	590277952	621714496	654434496	688687360
Diciembre	425626976	449507104	480117792	508874688	540375424	575475776	605505856	636422848	668687552	702527680

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.3 Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Medio para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	513552992	540371328	554908352	594782720	633185216	670419264	710890240	745781376	781782400	819463488
Febrero	507160576	537852032	560902528	594686336	633167104	670888704	710993280	746111488	782380608	820345472
Marzo	517141728	550791744	575600896	608332736	646257664	683901632	723110528	757853824	793813568	831514432
Abril	546460608	565695424	583660288	620676608	657945216	695526656	733856512	768283328	803993856	841489408
Mayo	535946304	551100672	572857344	613769664	651299008	689635072	727859584	762829568	799112256	837178176
Junio	517696352	524360576	563991040	598870528	636929216	676296320	714737856	750590528	787775744	826727488
Julio	490350784	511840704	540022016	578911680	617675712	658208768	697052608	733974080	772241216	812254016
Agosto	489752576	511354752	543239040	585044608	623624256	664415872	702656320	739547328	777833472	817892608
Septiembre	484835872	507609600	536138528	578799104	617546112	658992640	697108480	734481024	773286208	813869888
Octubre	484273024	500779904	534156288	574286080	613081728	655100160	693025216	730805888	770058496	811102144
Noviembre	494917312	516178944	549201408	586676032	625030592	667114240	704175104	741678976	780712512	821574656
Diciembre	507754880	536242816	572758976	607064704	644644928	686516800	722342720	759225344	797714304	838085632

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.4 Proyecciones del consumo eléctrico para el supuesto Crecimiento para el periodo 2013-2022 modelo ARIMAX en kWh

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	593295040	624277632	641071936	687137728	731503168	774518784	821273856	861582784	903173888	946705856
Febrero	585910080	621367168	647996800	687026368	731482240	775061120	821392896	861965760	903864896	947724800
Marzo	597441024	636316032	664977472	702791744	746606912	790094592	835391680	875529728	917074880	960628032
Abril	631312384	653533888	674288320	717052288	760107776	803524736	847806272	887578688	928834176	972151872
Mayo	619165504	636672960	661809152	709072896	752431040	796718336	840878144	881278080	923194624	967171200
Junio	598081792	605780800	651564864	691860288	735828544	781308352	825718912	867140288	910097856	955097792
Julio	566491200	591316864	623874112	668802368	713585472	760412288	805287616	847942080	892151168	938376896
Agosto	565799040	590755520	627590592	675887552	720457664	767584640	811763008	854380736	898611712	944891072
Septiembre	560118848	586428800	619387520	668672256	713435776	761319296	805353664	848529408	893358400	940243776
Octubre	559468608	578538624	617097536	663458496	708278144	756822400	800634816	844281920	889629504	937046208
Noviembre	571765696	596328704	634479936	677772288	722083712	770700608	813516032	856843328	901937856	949144896
Diciembre	586596608	619508032	661694272	701326784	744742272	793117376	834504640	877114240	921579520	968219584

Fuente: Elaboración propia