

# DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BOLIVIA: UN MODELO SARIMA-GARCH & ARN

## DEMAND OF ELECTRIC ENERGY IN BOLIVIA: A MODEL SARIMA-GARCH & ARN

Edward E. Herman Pinaya<sup>Y</sup>

Alcides V. Oxa Gerónimo<sup>Ω</sup>

Rolly R. Vásquez Macedo<sup>α</sup>

- **RESUMEN:** El pronóstico de la demanda de energía eléctrica para el Sistema Interconectado Nacional (SIN), resulta de alta relevancia para la planificación de la generación de energía eléctrica y así poder prever de manera eficiente y anticipada los proyectos para la generación futura de energía eléctrica de modo de evitar desequilibrios en el Mercado de Energía Mayorista (MEM), así mismo es prioridad del Estado conocer la demanda de energía eléctrica el cual está planteado en la agenda 2025. En este documento se modela la demanda mensual de energía eléctrica del SIN. Se definen el modelo SARIMA, verificando que el modelo planteado sea correcto. Y para controlar la variación de la dispersión condicional se propone además un modelo ARCH. Así mismo para comparar el pronóstico se elabora un modelo de Redes Neuronales Artificiales –ARN. Por último, para ver la FIR de la demanda de energía eléctrica ante un *shock* en el índice de actividad económica IGAE se elabora un modelo de Vectores Autorregresivos.
- **PALABRAS CLAVE:** Demanda de Energía Eléctrica, SARIMA, ARCH, Pronóstico de la demanda Redes Neuronales Artificiales –ARN.

---

<sup>Y</sup> Correo electrónico: [e.lebilly@gmail.com](mailto:e.lebilly@gmail.com)

<sup>Ω</sup> Correo electrónico: [alcivale@gmail.com](mailto:alcivale@gmail.com)

<sup>α</sup> Correo electrónico: [rollyvasquez@hotmail.com](mailto:rollyvasquez@hotmail.com)

Agradecimientos al **Dr. Enrique Gomez D'Angelo** por el asesoramiento y la información provistos, sin cuya colaboración la presente investigación no hubiese sido posible desarrollarla. El contenido del presente documento es de responsabilidad plena de los autores.

*Economía coyuntural, Revista de temas de coyuntura y perspectivas, vol.2, núm. 1., pp. 59- 92.*

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

- **ABSTRACT:** The forecast of demand for electric power for the National Interconnected System (SIN), is highly relevant for the planning of electric power generation and thus to be able to anticipate in an efficient and anticipated way the projects for the future generation of electric power so Of avoiding imbalances in the Wholesale Energy Market (MEM), it is also a priority of the State to know the demand for electric energy, which is set out in Agenda 2025. In this document, the monthly electricity demand of the SIN is modeled. The SARIMA model is defined, verifying that the model is correct. And to control the variation of the conditional dispersion, an ARCH model is also proposed. In order to compare the prognosis, a model of Artificial Neural Networks (ARN) is elaborated. Finally, to see the FIR of the electric energy demand against a shock in the index of conomica IGAE activity, a model of Self-Regressive Vectors is elaborated.
- **KEYWORDS:** Electric Power Demand, SARIMA, ARCH, Forecast demand, Artificial Neural Networks -ARN.
- **CLASIFICACIÓN JEL:** C01, C32, D03, D11, D12, E17 y Q41.
- Recepción: 06/01/2017                      Aceptación: 07/02/2017

## **Introducción**

En primera instancia el documento presenta una introducción a la teoría de la demanda, desde una perspectiva del análisis del comportamiento del consumidor planteada por A. Marshall, con un enfoque agregado, suponiendo el fenómeno de agregación como la sumatoria de la participación de todos los agentes económicos vinculados en la demanda de electricidad. Luego se describe brevemente el Sistema Eléctrico Boliviano y su composición.

Para concluir el documento, se realiza una modelación econométrica para determinar la demanda de energía eléctrica del Sistema Integrado Nacional futura a partir diciembre de 2016 a diciembre de 2018, con base en la utilización de la metodología Box Jenkins, consistente con una estimación mediante modelos SARIMA, dado el comportamiento de la serie se propone

además un modelo ARCH, para controlar la variación de la dispersión condicional.

Sobre el pronóstico de demanda de energía eléctrica, el Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC) viene realizando sus propias proyecciones, con bas en su documento Proyección de la demanda de energía eléctrica de largo plazo del 2011 al 2022, en la cual toma el factor de distribución mensual (CNDC, 2011). Asimismo, el Ministerio de Hidrocarburos y Energía para el Plan Estratégico del Estado Plurinacional de Bolivia -2025 elaboraron un modelo VEC (modelo de Integración de Error) con la finalidad de evaluar el pronóstico de la demanda de la energía, esta agenda 2025, en su modelo estimó ante el incremento del 1% en el PIB, la demanda de energía eléctrica se incrementa 1.4% {respuesta elástica} (VEEA, 2014).

Quedan aspectos de evaluación pendiente, al considerar que la (CNDC) debe publicar las estadísticas de forma mensual de estas proyecciones y asimismo la información real, de la demanda de energía eléctrica y de las demás variables relacionadas. La proyección de la demanda de energía eléctrica sugiere importancia puesto que es obligación del Estado prever proyectar la energía eléctrica y al mismo tiempo este debe tener una planificación global del Sistema Interconectado Nacional, por lo que las instituciones involucradas dependiente del Estado constantemente están desarrollando proyecciones más efectivas; asimismo, el gobierno de Bolivia creó la Cartera de Estado - Ministerio de Hidrocarburos.

En esta investigación, se direcciona hacia la siguiente interrogante: *¿cuáles son los futuros escenarios o pronósticos en la demanda de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional para el período 2017-2018?*

## ■ ECONOMÍA COYUNTURAL

### 1. Teoría de la demanda

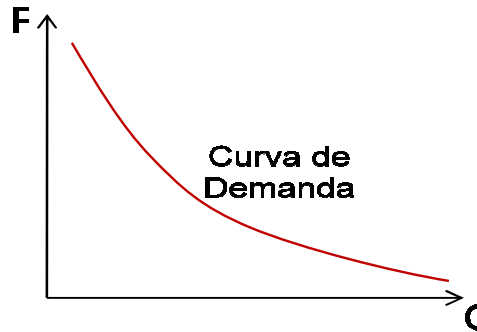
Esta teoría permite aproximar nuestra comprensión del comportamiento de los consumidores, que en su afán de buscar la satisfacción de alguna de sus necesidades, considerando que estos hacen una respectiva priorización de ellas, determinan la adquisición de algún satisfactor (bien o servicio presente en un mercado) en una cuantía definida, considerando que este comportamiento es afectado por una serie de factores, de los cuales según detalla (Sapag Chain, 2007), podemos detallar algunos: *el precio del bien o servicio (P), el ingreso de los consumidores (Y), la cantidad de los consumidores (N), precio de los bienes complementarios (Pc), el precio de los bienes sustitutos (Ps), gustos o preferencias (GP), expectativas (E)*. A partir de la consideración de estos factores, podemos determinar la función de la demanda:

$$D = f(P^-, Y^+, N^+, Pc^-, Ps^+, GP^+, E^+) \quad (1)$$

Los signos presentes en la función definida, nos señalan el tipo de relación y por tanto el efecto que presentan cada una de las variables consideradas con respecto a la cantidad demandada, por ejemplo un incremento en el ingreso de los consumidores, nos hace suponer que incrementará la cantidad demandada, determinando una relación positiva entre el ingreso de los consumidores y la cantidad demandada, por otro lado un incremento de los precios del bien o servicio considerado nos muestra que reduciría la cantidad demandada esta relación la conocemos como relación inversa entre el precio del bien y la cantidad demandada. Por su parte (Friedman, 1982) la define como una función que detalla “...*el lugar específico de los puntos que indican, cada uno, la cantidad máxima del bien que comprará la colectividad, en una unidad de tiempo, a un precio determinado.*”. Si bien esta representación es una forma de mostrar el comportamiento del consumidor,

no necesariamente detalla el comportamiento de todos los consumidores sino más bien es solo una aproximación y como tal tiene sus limitaciones.

**Gráfico 1: CURVA DE LA DEMANDA**



Fuente: Elaboración propia.

### **1.1 LA DEMANDA EN TÉRMINOS AGREGADOS**

Hasta ahora se ha definido sólo el comportamiento individual de los agentes económicos, pero con la finalidad de abordar el presente análisis, es necesario comprender el fenómeno a nivel agregado, por lo que se precisa detallarlo de manera simple. La demanda de un sector, está definida por la acumulación de la demanda individual de cada una de las empresas que ofertan el mismo bien o servicio, lo que manera formal estaría definido por:

$$Q_i^D = \sum_1^n f_j(P_i) \quad (2)$$

Donde  $Q_i^S$  representa la oferta agregada del sector,  $Q_i^D$  representa la demanda agregada del sector, y  $f_j(P_j)$  representa a una función de oferta o demanda que describa el comportamiento de cada una de las empresas o consumidores  $j$  a un precio  $P_i$  respectivamente, de tal modo que se represente la oferta agregada para  $n$  empresas o consumidores que son parte del sector en este caso del bien o servicio  $i$ .

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

## 1.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA CON EL ENFOQUE DE MARSHALL

De acuerdo con Vial & Zurita (2006), la demanda ordinaria o marshalliana por el bien  $l$  es una función que asigna, para cada nivel de ingreso  $m$  y precios de los bienes  $p_1, p_2$ , la cantidad consumida de  $x_l$  que permite alcanzar el mayor nivel de utilidad posible, dado el conjunto de posibilidades del individuo. Denotamos esta función como:

$$x_l^M = x_l(m, p_1, p_2) \quad (3)$$

Esta ecuación de demanda, resulta de la maximización de la función de utilidad individual sujeta a la restricción presupuestaria. Por tanto  $x_l^M = x_l(m, p_1, p_2)$  se obtiene a partir de la resolución del sistema de ecuaciones de primer orden, resultantes del siguiente problema de maximización:

$$\max_{\{x_1, x_2\}} u(x_1, x_2) \quad (4)$$

Sujeto a:

$$m = x_1 p_1 + x_2 p_2 \quad (5)$$

Para este caso, el lagrangeano es:

$$L = u(x_1, x_2) + \gamma(m - x_1 p_1 - x_2 p_2) \quad (6)$$

Por lo que las condiciones de primer orden son:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{\partial u}{\partial x_1} - \gamma p_1 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_2} = \frac{\partial u}{\partial x_2} - \gamma p_2 = 0 \quad (8)$$

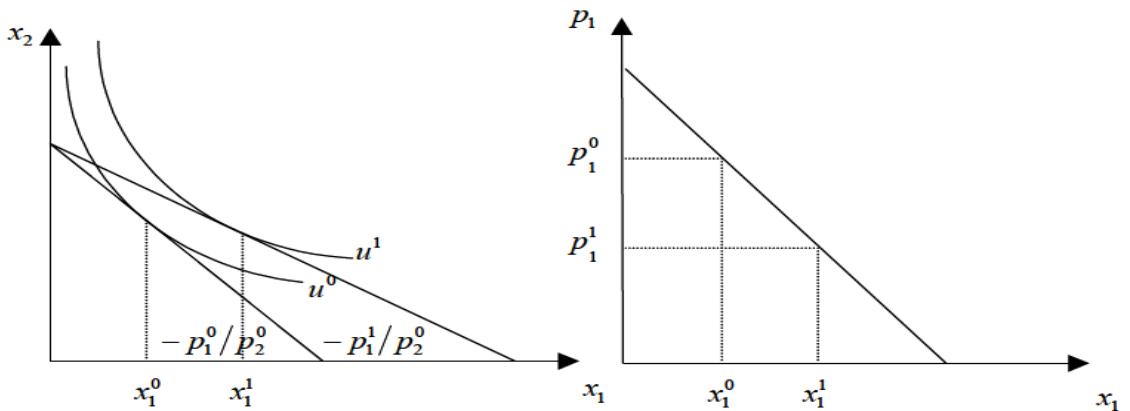
$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = m - x_1 p_1 - x_2 p_2 = 0 \quad (9)$$

De donde se obtiene la condición de tangencia:

$$TMS = \frac{P_1}{P_2} \quad (10)$$

Si se reemplaza la función de utilidad  $u = u(x_1, x_2)$  se obtendrán las funciones de demanda ordinaria, a su vez de la utilidad máxima que se puede obtener para cada nivel de ingreso  $m$  y precios  $p_1, p_2$ , planteada en la ecuación (3). Que de forma gráfica podemos verla a continuación.

**Gráfico 2: DERIVACIÓN DE LA DEMANDA ORDINARIA**



Fuente: (Vial & Zurita, 2006)

La aplicación de en términos agregados de la determinación de la demanda desde una perspectiva Marshalliana, vinculamos al PIB como una representación del ingreso global y el precio para el caso concreto de este

## ■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

estudio, representado por la tarifa de energía eléctrica promedio, ambos en términos anuales. Más adelante se especificará el modelo planteado.

### **2. EL SISTEMA ELÉCTRICO BOLIVIANO**

La cadena productiva del sector eléctrico boliviano está conformada por tres actividades principales: la generación, transmisión y distribución de energía, estas actividades se encuentran fiscalizadas por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE), que anteriormente fue la Superintendencia de Electricidad (SE) (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE), 2009).

A su vez el sector, se agrupa por su nivel de interconexión en dos grandes conjuntos: el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y los Sistemas Aislados; el primero representa aproximadamente el 90% de la demanda del país, conformando de esta manera el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

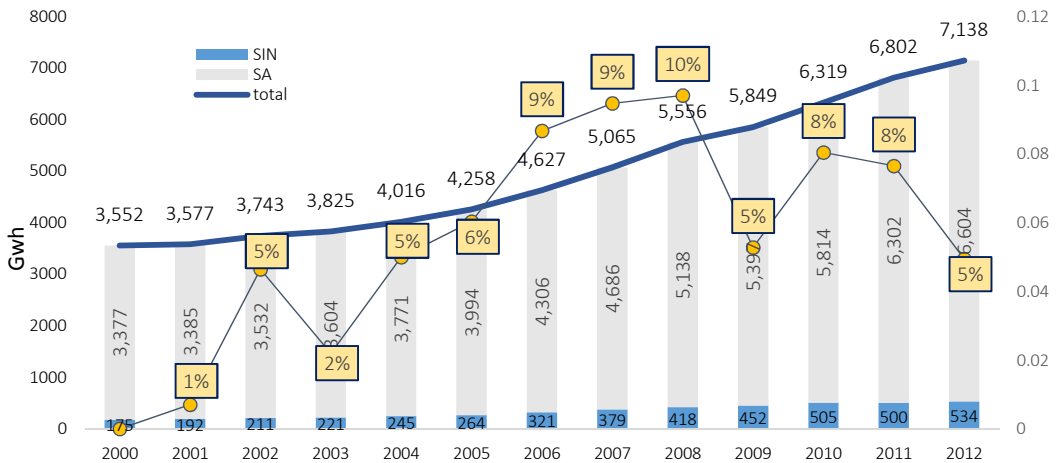
En el SIN, tanto la transmisión como la distribución por su naturaleza de monopolios naturales son reguladas de tal modo de otorgarles una rentabilidad garantizada. A diferencia de estas, la generación supone la presencia de condiciones de un mercado de competencia perfecta como destaca (Gómez D'Angelo, 2010). Esto hace que la generación de electricidad busque responder a los mecanismos de mercado, estableciendo tarifas a costo marginal para la potencia y la energía entregadas (Gómez D'Angelo, 2010). Por todo esto, el comportamiento competitivo hace necesario el análisis de la interacción de la oferta (generación) y demanda (transmisión).

Esta estructuración hace que los precios de generación sean sensibles a la oscilación tanto de la oferta como de la demanda, dejando en estas condiciones al área de generación, que actúe en condiciones de



incertidumbre en lo que refiere a sus rentabilidades, a diferencia de los sectores de distribución y transmisión.

**GRAFICO 3. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN BOLIVIA (GWH)  
2005 - 2012**



Fuente: Elaboración propia según datos del Comité Nacional de Despacho de Carga y la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad.

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica ha sido creciente en mayor proporción desde el 2006 con un 9%. El gráfico 3 muestra la evolución histórica de la demanda de energía eléctrica del SIN, y del Sistema Alterno (SA). Según el Plan Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025 (Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas. 2014), en el 2014 el 76,8% del parque de generación se encuentra en manos del Estado, y en tal efecto 2013 se realizó la interconexión del sistema Tarija, integrando de esta manera al octavo departamento del país, después de los departamentos La Paz, Cochabamba, Santa Cruz, Oruro, Chuquisaca, Potosí y Beni. A partir de agosto se considera en la información estadística la demanda de Tarija a la información estadística del Comité Nacional de

Despacho de Carga.

### **3. PROYECCIONES DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BOLIVIA DESDE 1990 - 2010**

Como señala, Gomez D'Angelo (2011) en su análisis histórico de las técnicas de proyección de la demanda de energía eléctrica en Bolivia, la década de 1990 fue proyectada la demanda con una base de datos histórica de 1975 a 1987, con una relación econométrica planteada como  $E = a \cdot P^\epsilon$ , que relaciona la energía eléctrica (E), con el nivel de producción agregada a manera de ingreso agregado (P), donde la elasticidad es representada por ( $\epsilon$ ) y  $a$  vienen a representar parámetros fijos.

También en esa misma década (Gomez D'Angelo, 2011), muestra que el informe de demanda, denominado “Análisis del Sector Eléctrico” establece que el consumo eléctrico no está estadísticamente asociado con las variables económicas, por lo que se agrega que este su crecimiento está explicada por el nivel de expansión de la cobertura de servicio eléctrico de las principales ciudades. Es preciso señalar también que estas proyecciones como destaca Gómez, se las realiza en una etapa de transformación estructural de la economía nacional, donde se reduce gradualmente la participación del estado y se promueve la inversión privada.

Para ambos casos considerados es bueno reconocer que sus proyecciones una vez comparados con los datos históricos a largo plazo fueron muy acertadas como puede corroborarse en las gráficas de anexos.

Nuevamente (Gomez D'Angelo, 2011), muestra que para 1993 se publica el Plan Nacional de Electrificación 1995-2010, donde se plantea un modelo que depende de un factor de crecimiento cronológico, y un factor de relación con el Producto Interno Bruto, suponiendo que aun en periodos de

recesión en la economía. Para 1999 se presenta el Plan Referencial del sistema Interconectado Nacional Boliviano 1999-2008, donde se calcula la proyección por departamento y por categoría de usuario, desagregando el PIB en PIB per cápita, PIB Industrial y de algunos sectores vinculados a sus niveles de demanda de energía eléctrica. Por último muestra una actualización del Plan Referencial del Sistema Interconectado Nacional, que fue publicado para 1995, donde se desarrolla una proyección en base al modelo planteado que establece un consumo de electricidad de largo plazo esperada que es función del producto nacional y además establece un ajuste denominado función de demanda de corto plazo del consumo de energía eléctrica. Todo esto realizado con una desagregación por sectores.

El Plan de Expansión del SIN 2011-2021 (CNDC, 2010), presenta una proyección de la potencia máxima de por empresa generadora anual, por empresa generadora, utilizando una relación por tasas de la demanda actual en relación a la demanda rezagada en un periodo: una relación de corto plazo con su comportamiento histórico, una variable dicotómica de ajuste estadístico, y media móvil para ajustes de orden uno para corregir y garantizar estimadores insesgados.

#### **4. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

##### **4.1. Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil (ARIMA)**

El modelo ARIMA es una técnica de pronóstico en el cual se modela una variable a pronosticar en función de sus términos autorregresivos, una variable estocástica y rezagos para ésta última. A los rezagos de la misma serie a pronosticar, se los denomina términos autorregresivos y a los rezagos de la variable estocástica se denominan términos media móvil. Un modelo ARIMA ( $p, d, q$ ) es

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

$$\Delta^d y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta^d y_{t-i} + u_t + \sum_{j=1}^q \theta_j u_{t-j} \quad (11)$$

Donde  $y_t$  es la serie a pronosticar,  $c$  es una constante,  $u_t$  es la variable estocástica que sigue un proceso ruido blanco, es decir,  $u_t \sim iid(0, \sigma^2)$  lo que significa que tiene media cero, varianza constante, covarianza cero y está distribuido independiente e idénticamente,  $\phi_i$  y  $\theta_j$  son coeficientes,  $p$  es la longitud del rezago del término autorregresivo,  $d$  es el número de veces que se diferencia la serie para que sea estacionaria y  $q$  es la longitud del rezago del término media móvil, la ecuación (11) puede reescribirse como.

$$\begin{aligned} \left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i\right) \Delta^d y_t &= c + \left(1 + \sum_{j=1}^q \theta_j L^j\right) u_t \\ \phi(L) \Delta^d y_t &= c + \theta(L) u_t \end{aligned} \quad (12)$$

Donde  $L$  es el operador rezago,  $\Delta = 1 - L$  es el operador diferencia,  $\phi(L)$  y  $\theta(L)$  son polinomios en  $L$ . Si todas las raíces del polinomio  $\phi(L)$  caen fuera del círculo unitario, entonces la serie es estacionaria en covarianza, si no es estacionaria entonces se dice que tiene raíz unitaria, cuando la serie es estacionaria se la puede representar como un proceso media móvil de orden infinito, así  $y_t$  será una función de términos ruido blanco y como el proceso ruido blanco es un caso particular de estacionariedad entonces  $y_t$  será estacionario y se distribuirá como  $y_t \sim iid(\mu, \sigma_y^2)$ ; para conseguir un buen pronóstico se emplea la metodología Box-Jenkins ampliada la cual incluye verificar si la serie es o no estacionaria lo que se hace llevando a cabo una prueba de raíz unitaria. Para probar la existencia de raíz unitaria existen varias pruebas, entre ellas la más popular es la Dickey Fuller Aumentado.

Si la serie tiene raíz unitaria entonces se procede a transformar la misma tomando diferencias posiblemente con logaritmos o cualquier otra transformación biyectiva hasta que sea estacionaria.

Una vez que se tiene la serie estacionaria se pasa a identificar el proceso que sigue mediante el correlograma que es una representación de las funciones de autocorrelación simple y de autocorrelación parcial de la variable, si la función de autocorrelación simple decrece en valor absoluto suavemente y la función de autocorrelación parcial cae a cero súbitamente luego de  $p$  períodos entonces el proceso es autorregresivo de orden  $p$ , si la función de autocorrelación parcial decrece en valor absoluto suavemente y la función de autocorrelación simple cae a cero súbitamente luego de  $q$  períodos entonces el proceso es de media móvil de orden  $q$ , si existen irregularidades en el comportamiento de las funciones de autocorrelación se debe probar con varias combinaciones de  $p$  y  $q$ .

Luego se pasa a estimar el modelo identificado mediante mínimos cuadrados o máxima verosimilitud. Seguidamente se debe verificar el cumplimiento del supuesto de ruido blanco, si no se cumple entonces se regresa al tercer paso, el de examinar el correlograma para probar otra identificación, o al paso 2 para realizar otra transformación que resulte en variable estacionaria. Si los residuales son ruido blanco entonces se procede a pronosticar.

Si la serie presenta estacionalidad entonces se utiliza el modelo SARIMA

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

$$\Phi(L) \phi(L) \Delta_s^D \Delta^d y_t = c + \Theta(L) \theta(L) u_t \quad (13)$$

Donde  $\Phi(L)$  y  $\Theta(L)$  son polinomio en el operador  $L$  que rezaga en éste caso estacionalmente y  $\Delta_s = 1 - L^s$  es el operador diferencia estacional donde  $s$  es el orden del rezago estacional que es 4 si la serie es trimestral y 12 si es mensual.

#### 4.2. Modelo Autorregresivo de Heteroscedasticidad Condicional (ARCH)

Si bien la ecuación de la media puede estar correctamente especificada, la varianza podría presentar un comportamiento diferente al homocedástico es decir que pueder ser heteroscedástica; por lo tanto, la heteroscedasticidad puede ser condicional a la información pasada, una formulación simple es:

$$u_t = h_t v_t \quad (14)$$

Donde  $v_t$  es un proceso ruido blanco con media cero y varianza unitaria,  $h_t$  es una desviación estándar condicional a valores pasados de  $u_t$ , por tanto la varianza condicional es

$$h_t^2 = \eta + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \alpha_2 u_{t-2}^2 + \dots + \alpha_m u_{t-m}^2 \quad (15)$$

El cual se conoce como modelo de heteroscedasticidad condicional de orden  $m$  o ARCH( $m$ ). Si bien un modelo con heteroscedasticidad condicional es muy común en las series financieras que exhiben alta volatilidad, nada indica concluyentemente que no pueda darse en otro tipo de series, y es por tanto útil si se sospecha que la varianza no es condicionalmente homoscedástica. Para determinar si un modelo pueda tener heteroscedasticidad condicional se realiza una prueba ARCH del orden requerido, asimismo se puede verificar el correlograma de los residuales al cuadrado, los cuales si no son ruido blanco, entonces se puede estar en

presencia de heteroscedasticidad condicional, para más detalles véase Greene (2004) o Lütkepohl (2005) para un tratamiento multivariado.

### **4.3. Modelo de Vectores Autorregresivos**

Se puede especificar un modelo VAR para el caso  $m$  variables con  $p$  retardos conocido como VAR( $p$ ) de dimensión  $M$  que tiene la siguiente expresión

$$y_t = B_1 Y_{t-1} + \dots + B_p Y_{t-p} + A x_t + \varepsilon_t, \quad (16)$$

Donde la  $Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}) = 0$  para todo  $j \neq 0$ . El vector  $y_t'$  corresponde a las variables endógenas integradas de orden 1  $I(1)$ , el vector  $x_t'$  corresponde a las variables exógenas (incluye la constante, variable dicotómica y variables estacionales),  $B_1, \dots, B_p$  y  $A$  son las matrices de parámetros a estimar. Reescribiendo la ecuación (16) se tiene:

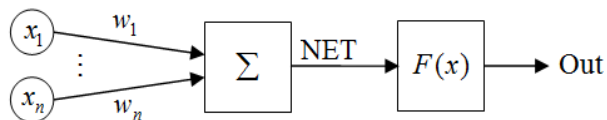
$$y_t = B(L)y_t + Cx_t + \varepsilon_t \quad (17)$$

Para una especificación y características más minuciosas véase Greene (2004) o Lütkepohl (2005) para un tratamiento multivariado.

### **4.4. Redes Neuronales Artificiales (ARN)**

Las redes neuronales artificiales pertenecen a una de esas áreas de la investigación en inteligencia artificial basadas en los intentos de simular el sistema nervioso del ser humano y su capacidad para aprender y adaptarse, lo que nos permitirá crear una simulación muy genérica del funcionamiento del cerebro humano (mql5, 2017).

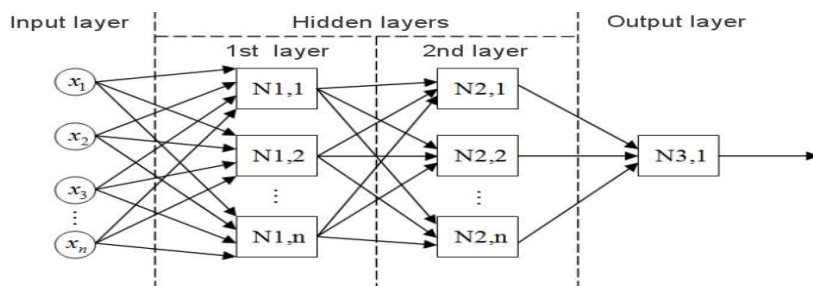
GRAFICA 4. MODELO DE NEURONA ARTIFICIAL



Fuente: (mql5, 2017).

La estructura de una neurona puede ser representada como una composición de las siguientes unidades: 1. Entradas  $x_n$ ; 2. Pesos  $w_n$ ; 3. Función de transferencia  $\Sigma$  y entrada neta  $NET$ ; 4. Función de activación  $F(x)$ ; 5. Salida  $Out$ . Las redes neuronales tienen muchas propiedades y la capacidad de aprender es la más destacada. El proceso de aprendizaje se reduce a cambiar los pesos  $w_n$ .  $NET = \sum_n x_n w_n$  Esta es la entrada neta de la neurona  $Out = F(NET - \theta)$  La entrada neta se transforma luego en la salida mediante la función de activación que veremos más tarde. En pocas palabras, puede considerarse una red neuronal como una "caja negra" que recibe señales como entradas y proporciona resultados como salidas (mql5, 2017).

GRAFICA 5. MODELO DE UNA RED NEURONAL MULTICAPA



Fuente: (mql5, 2017).

Este es el aspecto de una red neuronal multicapa. Comprende: i) La capa de entrada, que sirve para distribuir los datos por la red y no realiza ningún cálculo. Las salidas de esta capa transmiten señales a las



entradas de la siguiente capa (oculta o de salida); ii) La capa de salida, que normalmente contiene una neurona (o algunas veces más de una) que genera la salida de toda la red neuronal. La señal subyace bajo el control lógico futuro del asesor experto; iii) Las capas ocultas, que son capas de neuronas estándar que transmiten señales desde la capa de entrada a la capa de salida. Su entrada es la salida de la capa anterior, mientras que su salida es la entrada de la capa siguiente (mq15, 2017).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Estimación de los modelos SARIMA-ARCH, VAR & ARN**

Se modeló la variable demanda de energía eléctrica, expresada en kwh, y cuyos datos se encuentran en frecuencia mensual desde enero de 1997 a noviembre del 2016, el mejor modelo encontrado presenta los siguientes criterios Akaike info criterion= -4.956945, Schwarz criterion= -4.866417 y Hannan-Quinn criter= -4.920415, el modelo es un proceso SARIMA-ARCH donde la variable dependiente se halla en logaritmos, con una diferencia estacional que consiste en diferenciar 12 periodos dado que los datos son mensuales y una diferencia de un periodo para la parte no estacional, con esta transformación la variable es estacionaria como se puede corroborar en la prueba de raíz unitaria (ver anexos), la ecuación de la media identificada mediante el correlograma (ver anexos) es:

$$\Delta_{12}\Delta\ln y_t = 0,00005 + (1 - 0,4822L - 0,1264L^2)(1 - 0,8507L^{12})\epsilon_t \quad (18)$$

Que se trata de un proceso SARIMA donde se modela la variable de la demanda de energía en función del término ruido blanco rezagado en 1, 2,

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

12, 13 y 14 periodos si expandimos el producto, la ecuación de la varianza fue:

$$h_t^2 = 0,00035 + 0,0118u_{t-1}^2 \quad (19)$$

Puesto que se identificó que los residuales al cuadrado siguen un proceso ARCH(1) mediante la prueba ARCH y también a través del correlograma de los residuales cuadrados antes de aplicar una especificación ARCH. Esta estimación permite pronosticar apropiadamente dado que los residuales y los residuales al cuadrado siguen ambos un proceso ruido blanco (ver anexos), en el siguiente cuadro se presentan los pronósticos hasta el año 2018.

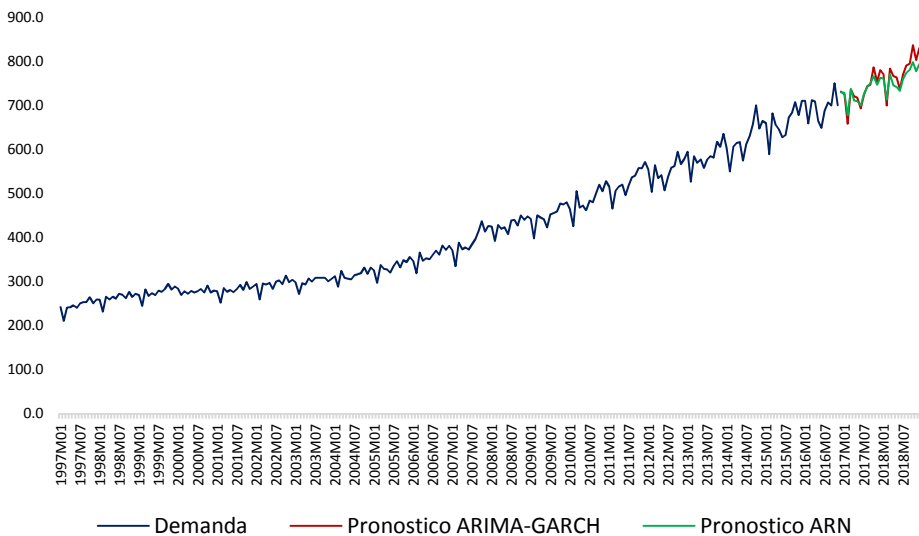
**Tabla1: PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD  
EN EL SIN (EN KWH)**

Mes	Demanda pronosticada ARCH	Demanda pronosticada ARN
dic-16	731.77	729.39
ene-17	724.98	728.57
feb-17	658.02	677.67
mar-17	737.13	737.59
abr-17	720.73	711.27
may-17	717.74	709.57
jun-17	692.87	699.80
jul-17	724.31	726.10
ago-17	743.30	741.61
sep-17	747.46	750.43
oct-17	786.88	766.95
nov-17	754.52	747.15
dic-17	780.51	763.16
ene-18	770.98	761.27
feb-18	699.82	713.73
mar-18	783.99	770.95
abr-18	766.59	745.22
may-18	763.44	742.00
jun-18	737.03	732.81
jul-18	770.51	760.39
ago-18	790.75	773.70
sep-18	795.21	781.24
oct-18	837.20	798.61
nov-18	802.81	777.61
dic-18	830.51	794.26

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Comité Nacional de Despacho de Carga 2016.

El gráfico 6 muestra cómo se comportaría el pronóstico, se observa en él que la demanda de energía eléctrica seguirá incrementándose con las características de estacionalidad que se tienen que dar, en el gráfico 8 se observan los valores pronosticados más y menos dos errores estándar, se nota que a medida que el pronóstico va más lejos las bandas se hacen más grandes aunque no con mucha rapidez, finalmente en el gráfico 9 se observa cómo se ajustan los datos al modelo, el coeficiente de Theil reporta que el ajuste es bueno ya que tiende a cero, asimismo se muestra un pronóstico de la varianza condicional.

**GRÁFICO 6: COMPORTAMIENTO Y PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD (EN KWH) DEL SIN 1997-2018**



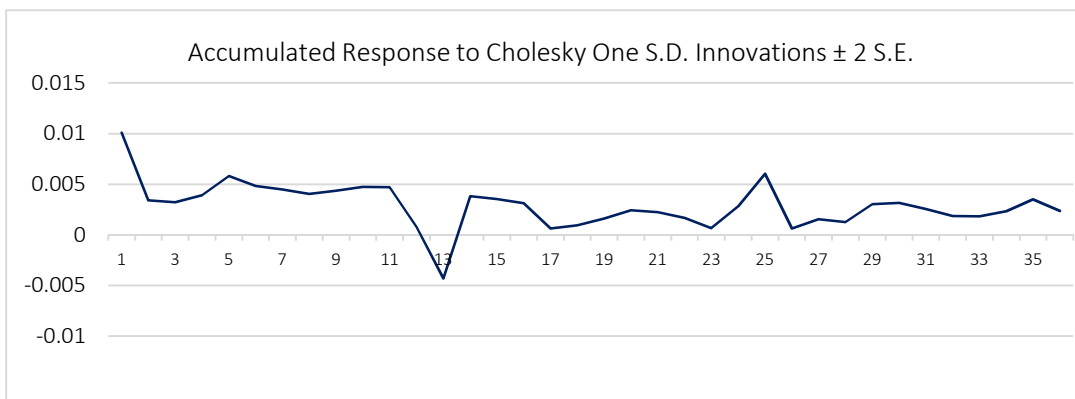
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Comité Nacional de Despacho de Carga 2016.

El modelo VAR realizado presenta como variables endógenas a la demanda de energía eléctrica del sistema interconectado y el Índice de Actividad Económica (IGAE), esta última como *proxy* del Producto Interno

## ■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

Bruto de Bolivia, los valores de Akaike information criterion = -10.513 y Schwarz criterion = -9.907131, el valor de probabilidad de la prueba de normalidad lutkepohl=0.9569, los resultados del modelo se puede ver en anexo, en la gráfica 7 en adelante se observa la funciones impulso respuesta de la demanda de energía eléctrica.

**GRÁFICO 7: RESPUESTA ACUMULADA DE DLOG(DEMANDA,1,12) ANTE UN CAMBIO EN DLOG(IGAE,1,12)**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Comité Nacional de Despacho de Carga 2016.

La función impulso respuesta indica que ante un shock de una desviación estándar en el IGAE, la demanda de energía eléctrica reacciona rápidamente incremento por dos periodos, después en el 12mo periodo una disminución, así posteriormente se estabiliza.

## 6. CONCLUSIONES

Se tiene establecido el modelo SARIMA-GARCH que brinda un pronóstico adecuado que recoge la estacionalidad de la serie en el comportamiento de la variable pronosticada, obteniéndose que la demanda de energía eléctrica se incrementará en un futuro inmediato, producto de la expansión natural histórica de la cobertura además del plan nacional de expansión de la cobertura nacional incluso a pesar de cumplirse el plan de optimización de

uso energético establecido por el gobierno actual. El cual además cumple con todos los supuestos requeridos para que se pueda decir de él que es un modelo adecuado. Así mismo el pronóstico mediante redes neuronales fueron favorables existe un buen ajuste.

Este pronóstico puede ser publicado en las estadísticas de la Comité Nacional de Despacho de Carga, o como referencia para estudios de realizan los especialistas del área para poder cotejar los pronósticos, así mismo ayudara a toma de decisiones para los elaboradores de la política económica y es también una referencia para los pronósticos de la agenda patriótica 2025. Asimismo, los resultados de la Función Impulso-Respuesta (FIR) del modelo con la demanda de energía eléctrica, y el IGAE como variables endógenas tiene una estabilización después de los doce meses.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Aramayo Ruegenberg, R. D. (2009). *El Sector Hidrocarburos* (Vol. I). La Paz: UDAPE.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE). (2009). *Anuario Estadístico 2008 – 2009*. La Paz: Artes Gráficas Sagitario S.R.L.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE). (2009). *Memoria Institucional 2009*. La Paz: Artes Gráficas Sagitario S.R.L.

Cárdenas, C. (2003). *Diagnóstico del Sector Eléctrico: 1990 - 2002*. La Paz: UDAPE.

Castro R, R., & Mokate, K. M. (1998). *Evaluación Económica y Social de Proyectos de Inversión*. Bogotá: Ediciones Uniandes.

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

- CEDLA y Plataforma Energética. (2011). *Crisis económica y políticas energéticas. Memoria del Seminario*. La Paz: CEDLA.
- Chiang, A. C. (1994). *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*. Madrid: McGraw Hill.
- CNDC. (1999). *Informe de Actividades Destiñ 1998*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2000). *Informe Anual 1999*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2001). *Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional en el año 2000*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2002). *Desarrollo del Mercado Eléctrico Mayorista Boliviano 1996 - 2001*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2002). *Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional en el año 2001*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2003). *Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional 2002*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2004). *Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional 2003*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2005). *Memoria Anual del Comité Nacional de Despacho de Carga y Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2006). *Memoria Anual 2005*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.

- CNDC. (2007). *Memorria Anual del Comité Nacional de Despacho de Carga y Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional 2006*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2008). *Memoria Anual del Comité Nacional de Despacho de Carga y Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional 2007*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2009). *Memoria Anual Comité Nacional de Despacho de Carga y Resultado de Operación del Sistema Interconectado Nacional Gestión 2008*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2010). *Memoria Anual - 2009 Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2010). *Plan Nacional del Sistema Interconectado Nacional 2011-2021*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2011). *2010 Anuario Resultados de Operación del Sistema Interconectado Nacional*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- CNDC. (2011). *2011-2012 Proyeccion de la Demanda de Energia Electrica de Largo Plazo del SIN*. Cochabamba: Comité Nacional de Despacho de Carga.
- Congreso Nacional de Bolivia. (Octubre de 1994). *Ley de Electricidad N° 1604*. La Paz: Gaceta Oficial.
- Friedman, M. (1982). *Teoría de los Precios*. Madrid: Alianza Editorial.
- Gallardo C, J. (1998). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión: Un enfoque de sistemas*. México: McGraw Hill.

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

- Gitman, L. J. (2003). *Principios de Administración Financiera* (Décima ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- Gómez D'Angelo, E. (2010). *Tendencias y desafíos para el desarrollo del sector eléctrico boliviano*. La Paz: CEDLA.
- Gomez D'Angelo, E. (2011). *Análisis de proyecciones de la demanda de electricidad 1990-2005*. Cochabamba.
- Greene, W. (2004). *Análisis Econométrico* (Cuarta ed.). México D.F.: Prentice Hall.
- Guerrien, B. (1998). *La Microeconomía*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Infante V., A. (1994). *Evaluación Financiera de Productos de Inversión*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) . (2009). *www.ine.gov.bo*. Recuperado el agosto de 2011, de [www.ine.gov.bo](http://www.ine.gov.bo)
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin: Springer.
- Mankiw, N. G. (1998). *Principios de Macroeconomía*. Madrid: McGraw Hill.
- Mankiw, N. G. (1998). *Principios de Microeconomía*. Madrid: McGraw Hill.
- Mankiw, N. G. (2006). *Macroeconomía* (Sexta ed.). Barcelona: Antoni Bosh Editor.
- Miller, R. L., & Meiners, R. E. (1996). *Microeconomía*. México: McGraw Hill.
- Mora, J. J. (2002). *Introducción de la Teoría del Consumidor de la preferencia a la estimación* (Primera ed.). Cali: Universidad UCESI.



- MQL5, (2017), *Redes Neuronales: De la teoría a la Práctica*. Recuperado de <https://www.mql5.com/es/articles/497>
- Pacheco, H. (2011). *Informe sobre el mercado energético mundial*. EnerDossier.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (1995). *Microeconomía*. Madrid: Prentice Hall.
- Ramírez Cayro, C. (2009). *Curso de Evaluación de Proyectos de Inversión*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Rodríguez Sánchez, J. I. (2003). *El impacto de eliminar los subsidios a la electricidad en México: implicaciones económicas y ambientales mediante un modelo de equilibrio general computable - Tesis de Maestría en Economía*. Puebla: Departamento de Economía, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas Puebla.
- Salinas San Martín, L. (2011). *Determinación del precio de gas natural para el sector eléctrico boliviano y su efecto en las tarifas a consumidor final*. La Paz.
- Sapag Chain, N. (2007). *Proyectos de Inversión Formulación y Evaluación*. México: Pearson Educación.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Santiago: McGraw Hill.
- Segura, J. (1993). *Análisis Microeconómico*. Madrid: Alianza Universidad Textos.
- Silberberg, E. (1990). *The Structure of Economics a Mathematical Analysis*. New York: McGraw Hill.
- Varian, H. R. (1999). *Microeconomía Intermedia Un Enfoque Actual* (Quinta ed.). Barcelona: Antoni Bosch Editor.

■ *ECONOMÍA COYUNTURAL*

Vial, B., & Zurita, F. (2006). *Microeconomía Intermedia*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile - Instituto de Economía.

Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas. (2014). Plan Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025. La Paz

Zárate Taborga, G., & Sanabria Rocha, M. (2009). *El Sector Eléctrico* (Vol. II). La Paz: UDAPE.

## 8. ANEXOS

**Tabla 2: ESTIMACIÓN DEL MODELO SARIMA-ARCH**

Dependent Variable: DLOG(DEMANDA,1,12)				
Method: ML - ARCH				
Date: 01/13/17 Time: 14:10				
Sample (adjusted): 1998M02 2016M11				
Included observations: 226 after adjustments				
Convergence achieved after 31 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
GARCH = C(5) + C(6)*RESID(-1)^2				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	5.11E-05	0.000112	0.457984	0.6470
MA(1)	-0.482237	0.084943	-5.677200	0.0000
MA(2)	-0.126436	0.082884	-1.525453	0.1271
SMA(12)	-0.850708	0.046357	-18.35127	0.0000
Variance Equation				
C	0.000354	3.54E-05	10.00524	0.0000
RESID(-1)^2	0.110840	0.062659	1.768940	0.0769
R-squared	0.568039	Mean dependent var		-0.000158
Adjusted R-squared	0.562202	S.D. dependent var		0.030498
S.E. of regression	0.020179	Akaike info criterion		-4.953076
Sum squared resid	0.090399	Schwarz criterion		-4.862265
Log likelihood	565.6976	Hannan-Quinn criter.		-4.916428
Durbin-Watson stat	1.975404			
Inverted MA Roots				
	.99	.85+.49i	.85-.49i	.67
	.49+.85i	.49-.85i	.00-.99i	-.00+.99i
	-.19	-.49-.85i	-.49+.85i	-.85-.49i
	-.85+.49i	-.99		

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC

**TABLA 3: CORRELOGRAMA DE LOS RESIDUOS DE LA ESTIMACIÓN SARIMA-ARCH**

Date: 01/14/17 Time: 01:03						
Sample: 1997M01 2016M12						
Included observations: 226						
Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA terms						
Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob*
.		1	-0.010	-0.010	0.0230	
.		2	-0.014	-0.015	0.0713	
.		3	0.015	0.015	0.1228	
.		4	0.041	0.041	0.5076	0.476
.		5	-0.041	-0.040	0.9088	0.635
.		6	-0.007	-0.007	0.9214	0.820
.		7	-0.043	-0.046	1.3657	0.850
.		8	-0.022	-0.023	1.4773	0.916
.		9	-0.025	-0.023	1.6204	0.951
.		10	0.063	0.063	2.5671	0.922
. *		11	0.125	0.131	6.3160	0.612
.		12	-0.029	-0.025	6.5131	0.688
.		13	0.054	0.056	7.2239	0.704
.		14	0.035	0.022	7.5161	0.756
.		15	0.019	0.014	7.6009	0.815
. *		16	0.089	0.102	9.5541	0.730
.		17	-0.056	-0.056	10.329	0.738
.		18	-0.027	-0.010	10.507	0.787
. *		19	-0.077	-0.079	11.996	0.744
.		20	0.018	0.016	12.074	0.796
.		21	0.065	0.068	13.144	0.783
.		22	-0.020	-0.028	13.249	0.826
. *		23	0.124	0.151	17.175	0.642
.		24	0.043	0.014	17.642	0.672
.		25	0.052	0.052	18.331	0.686
. *		26	0.102	0.089	20.989	0.582
. *		27	-0.071	-0.118	22.307	0.561
. *		28	-0.086	-0.052	24.244	0.505
.		29	0.008	-0.010	24.260	0.561
.		30	0.009	0.037	24.280	0.615
. *		31	-0.106	-0.100	27.236	0.505
.		32	0.061	0.063	28.219	0.506
.		33	-0.046	-0.033	28.782	0.529
. *		34	0.084	0.042	30.659	0.484
.		35	0.028	0.053	30.865	0.524
. *		36	0.132	0.074	35.578	0.348

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC

2016

**Tabla 4: CORRELOGRAMA DE LOS RESIDUOS AL CUADRADO DE LA**

Autocorrelation		Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
. .	. .	. .	. .	1	0.030	0.030	0.2013	0.654
* .	* .	* .	* .	2	-0.071	-0.072	1.3627	0.506
. .	. .	. .	. .	3	-0.048	-0.044	1.8979	0.594
. .	. .	. .	. .	4	-0.016	-0.019	1.9595	0.743
. .	. .	. .	. .	5	0.002	-0.003	1.9606	0.855
. .	. .	. .	. .	6	0.043	0.038	2.3843	0.881
. .	. .	. .	. .	7	0.039	0.035	2.7384	0.908
* .	* .	* .	* .	8	-0.091	-0.089	4.7013	0.789
. .	. .	. .	. .	9	0.013	0.027	4.7412	0.856
. .	. .	. .	. .	10	0.069	0.061	5.8836	0.825
. .	. .	. .	. .	11	-0.049	-0.058	6.4544	0.841
. .	. .	. .	. .	12	-0.017	-0.008	6.5262	0.887
* .	* .	* .	* .	13	-0.090	-0.095	8.4975	0.810
. .	. .	. .	. .	14	-0.042	-0.037	8.9213	0.836
. .	. .	. .	. .	15	-0.027	-0.035	9.1017	0.872
* .	* .	* .	* .	16	-0.073	-0.104	10.407	0.845
. .	. .	. .	. .	17	-0.046	-0.053	10.925	0.860
. .	. .	. .	. .	18	0.052	0.057	11.605	0.867
. .	. .	. .	. .	19	-0.011	-0.037	11.635	0.901
. .	. .	. .	. .	20	0.053	0.063	12.332	0.904
. .	. .	. .	. .	21	0.020	0.015	12.434	0.927
. .	. .	. .	. .	22	0.024	0.035	12.575	0.944
. .	. .	. .	. .	23	-0.053	-0.029	13.299	0.945
. .	. .	. .	. .	24	-0.049	-0.064	13.918	0.948
. .	. .	. .	. .	25	0.055	0.046	14.706	0.948
. .	. .	. .	. .	26	0.028	0.023	14.912	0.959
. .	. .	. .	. .	27	0.022	-0.005	15.043	0.969
. .	. .	. .	. .	28	-0.011	-0.021	15.075	0.978
. .	. .	. .	. .	29	0.019	0.017	15.165	0.984
. *	. *	. *	. *	30	0.085	0.077	17.077	0.972
. .	. .	. .	. .	31	-0.048	-0.057	17.691	0.973
* .	* .	* .	* .	32	-0.086	-0.105	19.646	0.957
. .	. .	. .	. .	33	-0.043	-0.015	20.141	0.961
. .	. .	. .	. .	34	0.004	0.012	20.146	0.971
. .	. .	* .	* .	35	-0.059	-0.083	21.078	0.969
. .	. .	. .	. .	36	0.058	0.047	21.983	0.968

**ESTIMACIÓN SARIMA-ARCH**

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC

**Tabla5: PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA DEL LOGARITMO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN DIFERENCIAS ORDINARIAS Y ESTACIONALES**

Null Hypothesis: DLOG(DEMANDA,1,12) has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 13 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-6.294038	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.461178	
	5% level		-2.874997	
	10% level		-2.574019	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(DLOG(DEMANDA,1,12),1)				
Method: Least Squares				
Date: 01/13/17 Time: 23:00				
Sample (adjusted): 1999M04 2016M11				
Included observations: 212 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DLOG(DEMANDA(-1),1,12)	-3.418108	0.543071	-6.294038	0.0000
D(DLOG(DEMANDA(-1),1,12),1)	1.866480	0.522201	3.574254	0.0004
D(DLOG(DEMANDA(-2),1,12),1)	1.438806	0.496139	2.900008	0.0042
D(DLOG(DEMANDA(-3),1,12),1)	1.241923	0.474894	2.615157	0.0096
D(DLOG(DEMANDA(-4),1,12),1)	1.091018	0.448708	2.431468	0.0159
D(DLOG(DEMANDA(-5),1,12),1)	1.019236	0.417917	2.438846	0.0156
D(DLOG(DEMANDA(-6),1,12),1)	0.978949	0.385409	2.540029	0.0119
D(DLOG(DEMANDA(-7),1,12),1)	0.994859	0.351851	2.827500	0.0052
D(DLOG(DEMANDA(-8),1,12),1)	0.971409	0.314644	3.087328	0.0023
D(DLOG(DEMANDA(-9),1,12),1)	0.922038	0.274702	3.356504	0.0009
D(DLOG(DEMANDA(-10),1,12),1)	0.943470	0.229207	4.116238	0.0001
D(DLOG(DEMANDA(-11),1,12),1)	0.993413	0.179647	5.529818	0.0000
D(DLOG(DEMANDA(-12),1,12),1)	0.497368	0.128575	3.868302	0.0001
D(DLOG(DEMANDA(-13),1,12),1)	0.230201	0.071410	3.223655	0.0015
C	-0.000410	0.001609	-0.254879	0.7991
R-squared	0.807916	Mean dependent var		-0.000148
Adjusted R-squared	0.794266	S.D. dependent var		0.051637
S.E. of regression	0.023422	Akaike info criterion		-4.602184
Sum squared resid	0.108069	Schwarz criterion		-4.364690
Log likelihood	502.8315	Hannan-Quinn criter.		-4.506194
F-statistic	59.18531	Durbin-Watson stat		2.039532
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC

Tabla 6: PRUEBA ARCH DEL MODELO SARIMA (ANTES DE ESTIMAR EL

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	5.647337	Prob. F(1,223)		0.0183
Obs*R-squared	5.557252	Prob. Chi-Square(1)		0.0184
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 01/14/17 Time: 01:16				
Sample (adjusted): 1998M03 2016M11				
Included observations: 225 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000340	5.56E-05	6.113194	0.0000
RESID^2(-1)	0.157253	0.066172	2.376413	0.0183
R-squared	0.024699	Mean dependent var		0.000403
Adjusted R-squared	0.020325	S.D. dependent var		0.000741
S.E. of regression	0.000733	Akaike info criterion		-11.58958
Sum squared resid	0.000120	Schwarz criterion		-11.55922
Log likelihood	1305.828	Hannan-Quinn criter.		-11.57733
F-statistic	5.647337	Durbin-Watson stat		1.970764
Prob(F-statistic)	0.018328			

**MODELO SARIMA-ARCH)**

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC 2016

**Tabla 7: PRUEBA ARCH DEL MODELO SARIMA-ARCH**

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.196581	Prob. F(1,223)	0.6579	
Obs*R-squared	0.198169	Prob. Chi-Square(1)	0.6562	
Test Equation:				
Dependent Variable: WGT_RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 01/14/17 Time: 01:14				
Sample (adjusted): 1998M03 2016M11				
Included observations: 225 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.970635	0.134534	7.214800	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	0.029705	0.066997	0.443375	0.6579
R-squared	0.000881	Mean dependent var	1.000192	
Adjusted R-squared	-0.003600	S.D. dependent var	1.749694	
S.E. of regression	1.752840	Akaike info criterion	3.969201	
Sum squared resid	685.1561	Schwarz criterion	3.999566	
Log likelihood	-444.5351	Hannan-Quinn criter.	3.981457	
F-statistic	0.196581	Durbin-Watson stat	1.992757	
Prob(F-statistic)	0.657925			

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC  
2016

Tabla 8: MODELO DE VECTORES AUTORREGRESIVOS

Vector Autoregression Estimates		
Date: 02/02/17 Time: 01:19		
Sample (adjusted): 2008M02 2016M10		
Included observations: 105 after adjustments		
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]		
	DLOG(IGAE,1,12)	DLOG(DEMANDA,1,12)
DLOG(IGAE(-1),1,12)	-0.461496 (0.11411) [-4.04447]	-0.156694 (0.21455) [-0.73032]
DLOG(IGAE(-2),1,12)	-0.176909 (0.11891) [-1.48770]	-0.038042 (0.22360) [-0.17014]
DLOG(IGAE(-3),1,12)	-0.274268 (0.11149) [-2.46006]	0.022634 (0.20963) [ 0.10797]
DLOG(IGAE(-4),1,12)	-0.110747 (0.10929) [-1.01330]	0.175637 (0.20551) [ 0.85465]
DLOG(IGAE(-11),1,12)	-0.075345 (0.10691) [-0.70472]	-0.486982 (0.20103) [-2.42239]
DLOG(IGAE(-12),1,12)	-0.195741 (0.10481) [-1.86759]	-0.338203 (0.19708) [-1.71611]
DLOG(DEMANDA(-1),1,12)	0.004079 (0.05606) [ 0.07277]	-0.463663 (0.10541) [-4.39881]

Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC 2016



**Tabla 8: RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE LOS CASOS ARN**

		N	Porcentaje
Muestra	Entrenamiento	156	65,0%
	Prueba	84	35,0%
Válidos		240	100,0%
Excluidos		24	
Total		264	

Fuente: Elaboración propia en IBM SPSS 19 datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC 2016

**Tabla 9: INFORMACIÓN SOBRE LA RED ARN**

Capa de entrada	Factores	1	mes	
	Covariables	1	año	
	Número de unidades <sup>a</sup>			13
Capas ocultas	Método de cambio de escala de las covariables		Normalizada	1
	Número de capas ocultas			7
	Número de unidades de la capa oculta 1 <sup>a</sup>			
Capa de salida	Función de activación		Tangente hiperbólica	
	Variables dependientes	1	demanda	
	Número de unidades			1
	Método de cambio de escala para dependientes de escala		Tipificados	
	Función de activación		Identidad	
	Función de error		Suma de cuadrados	

a. Sin incluir la unidad de sesgo

Fuente: Elaboración propia en IBM SPSS 19 datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC 2016

**Tabla 10: RESUMEN DEL MODELO ARN**

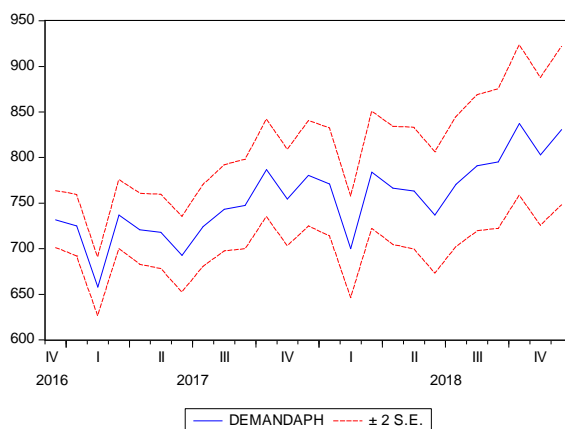
Entrenamiento	Suma de errores cuadráticos	,545
	Error relativo	,007
	Regla de parada utilizada	1 pasos consecutivos sin disminución del error
	Tiempo de entrenamiento	00:00:00,078
Prueba	Suma de errores cuadráticos	,342
	Error relativo	,009

Variable dependiente: demanda

a. Los cálculos del error se basan en la muestra de prueba.

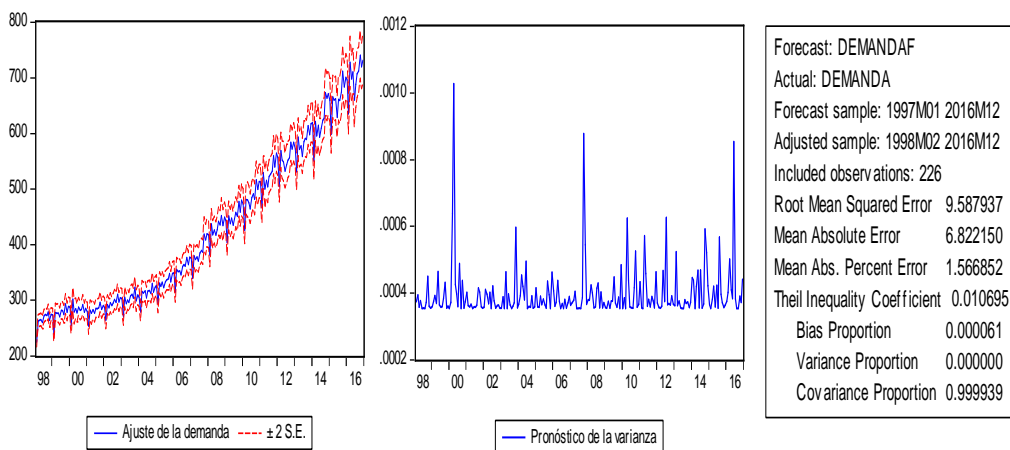
Fuente: Elaboración propia con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga CNDC 2016

**GRÁFICO 8: Pronóstico de la demanda de electricidad (en kwh) +/- dos errores estándar 2017-2018**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Comité Nacional de Despacho de Carga 2016.

**GRÁFICO 9: Ajuste de la demanda de electricidad (en kwh) +/- dos errores estándar y pronóstico de la varianza condicional 1997-2018**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Comité Nacional de Despacho de Carga 2016.

*Economía coyuntural, Revista de temas de coyuntura y perspectivas, vol.2, núm. 1., pp. 59- 92.*