

# Análisis y valoración del riesgo de precio de energía eléctrica en Colombia

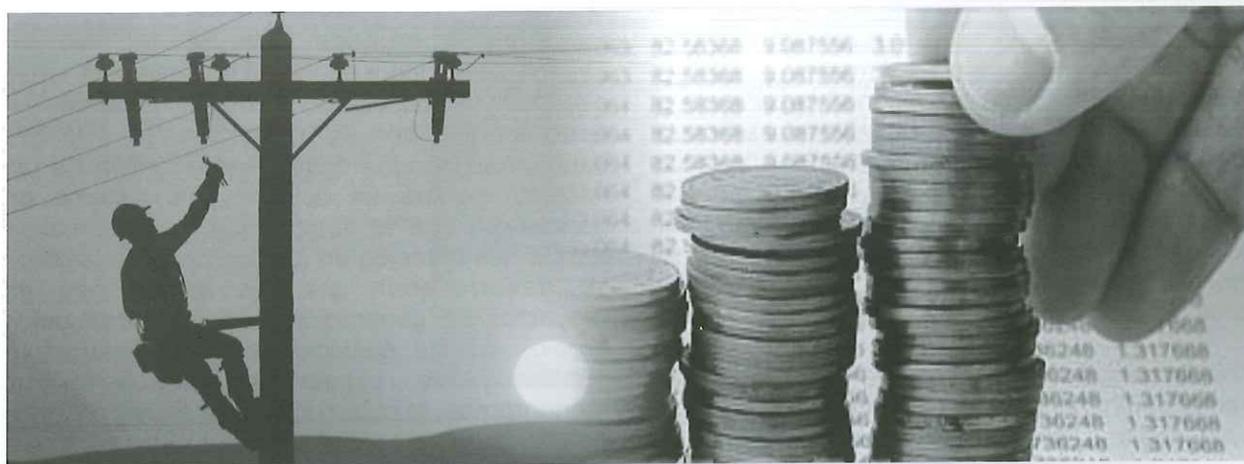
**Edisson Javier Antolínez Pérez**  
**Julián Felipe Mejía Corredor**  
**Ingenieros Financieros UNAB**

**Asesora**  
**Gloria Inés Macías Villalba**  
**Docente UNAB Programa de Ingeniería Financiera**

## Resumen

El precio de la electricidad en el mercado colombiano y su alta volatilidad es el tema central del presente artículo. La volatilidad es uno de los insumos más importantes en la cuantificación del riesgo en los mercados financieros y en el mercado eléctrico no es la excepción; ésta característica inherente de las series de precios es quizá uno de los mayores objetos de estudio en el ámbito mundial por su relevancia en la administración del riesgo de precio sobre cualquier activo.

Respondiendo a la mencionada importancia de esta medida de dispersión, se tratarán varios modelos de cálculo y pronóstico de volatilidad que van desde la clásica hasta la elaboración de modelos econométricos como el ARCH-GARCH y sus derivaciones, de manera que se pueda evaluar cuál de estos se ajusta más al comportamiento altamente volátil del precio de la electricidad en el mercado colombiano.



En una primera sección se realiza un análisis del sector eléctrico que comprende el marco histórico que dio origen al mismo, los principales actores o instituciones que procuran el correcto funcionamiento del sistema y una breve descripción de los agentes participantes de la cadena productiva. Luego se hace una breve síntesis de los mecanismos de negociación de la electricidad en el mercado de energía mayorista para entrar a analizar escenarios en los cuales se hace válido el análisis del precio de bolsa y la medición de las posibles pérdidas para los agentes expuestos a esta volatilidad.

Una vez realizada la contextualización se desarrolla una exploración de varios estudios a nivel nacional e internacional sobre la modelación de la volatilidad y algunos métodos de medición monetaria del riesgo de precio. En el tercer capítulo se da comienzo al análisis estadístico de la serie temporal utilizada en la investigación y por último se procede a realizar varios modelos estadísticos y econométricos para el cálculo de la volatilidad como insumo para la medición monetaria del riesgo en la última sección.

**Palabras Clave:** Precio, Valoración, Riesgo, Volatilidad, ARCH, GARCH, VaR, Backtesting y Montecarlo.

### Summary

The price of electricity in the Colombian market and its high volatility is a central theme of this article. The volatility is one of the most important inputs in the financial markets and the electricity market is no exception, this feature of the price series is perhaps one of the major objects of study worldwide for its relevance to risk management price of any asset.

Responding to the aforementioned importance of this measure of dispersion, we will discuss several models for calculating and forecasting volatility ranging from classical to the development of econometric models such as ARCH-GARCH and its derivatives, so that it can evaluate which of these behavior conforms more to highly volatile price of electricity in the Colombian market.

The first section is an analysis of the electricity sector by understanding the historical context that gave rise to it, the main actors or institutions that

seek the proper functioning of the system and a brief description of the actors involved in the production chain. After a brief summary of the mechanisms for electricity trading in the wholesale energy market to begin to analyze scenarios in which it is valid stock price analysis and measurement of potential losses for staff exposed to this volatility. Once the conceptualization, it develops a number of studies exploring national and international modeling of volatility and some methods of monetary measurement of price risk. In the third chapter begins the statistical analysis of time series used in the investigation and finally proceeds to perform various statistical and econometric models to calculate the volatility as an input to the monetary measurement of risk in the last section.

**Keys words:** Price, Valuation, Risk, Volatility, ARCH, GARCH, VaR Backtesting and Monte Carlo.

### INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico colombiano ha evolucionado continuamente debido a la importancia del mismo en la actividad productiva nacional, hasta tal punto que se ha demostrado cómo la evolución de la demanda de energía eléctrica tiene una alta correlación con el crecimiento económico del País. Este mercado ha sido pionero en cuanto a estructura regulatoria, plataformas de negociación y sistemas de información en Latinoamérica, logrando la transparencia necesaria para generar confianza en cada uno de los agentes participantes, demostrando mejoras significativas luego del cambio de normatividad del sistema a principios de los 90.

La crisis Energética que se registró en Latinoamérica y por supuesto en Colombia en la década de los 80, debido al subsidio de tarifas y a la no liberalización de las empresas, o lo que también se conoce como la politización de las mismas, generó un deterioro del sistema en general ya que al tiempo que se observaban deficientes manejos en las compañías también se desarrollaban grandes inversiones en proyectos de generación, con los sobrecostos propios de las ejecuciones de infraestructura pública y los respectivos retrasos en los cronogramas, lo cual convirtió al sector eléctrico en una carga para el Estado.

A partir de 1994 se dio origen a lo que hoy en día se conoce como mercado eléctrico nacional, luego de una fuerte sequía y el colapso del sistema; fue allí donde se observaron diversas falencias en cuanto a la planeación y el abastecimiento de energía y la débil infraestructura de generación, entonces se empezó a gestar la reglamentación y el sistema en su conjunto el cual comenzó completamente su actividad en Julio de 1995 con una estructura similar al mercado de Inglaterra y Gales, es decir, un mercado de contratos financieros y transacciones directas en la bolsa de energía [UPME 2004], siendo Colombia el primer país en Latinoamérica en diseñar y aplicar un mercado de bolsa de energía.

Luego de la liberalización del mercado eléctrico colombiano y en diversos países de Europa y Suramérica, se ha realizado gran cantidad de investigaciones que abarcan distintos temas en torno al mercado de electricidad, los cuales van desde críticas a los esquemas regulatorios, estructurales y operacionales hasta los más

detalados análisis estadísticos, económicos y econométricos que han apuntado al manejo de riesgos en el sector dada la alta volatilidad del precio de este *commodity*.

### Marco Legal

El mercado colombiano de Energía Eléctrica nace en 1994 con la aprobación de las leyes 142 (Ley eléctrica) y 143 (Ley de servicios públicos) en las cuales se reglamentan las actividades del sector: Generación, transmisión, distribución y comercialización, promoviendo la libre competencia entre los agentes participantes; además estas dos leyes precisan las características y las políticas que regirán los servicios públicos así como su control, vigilancia y debida regulación.

### Agentes

La estructura del mercado eléctrico Colombiano se puede apreciar en la figura 1.

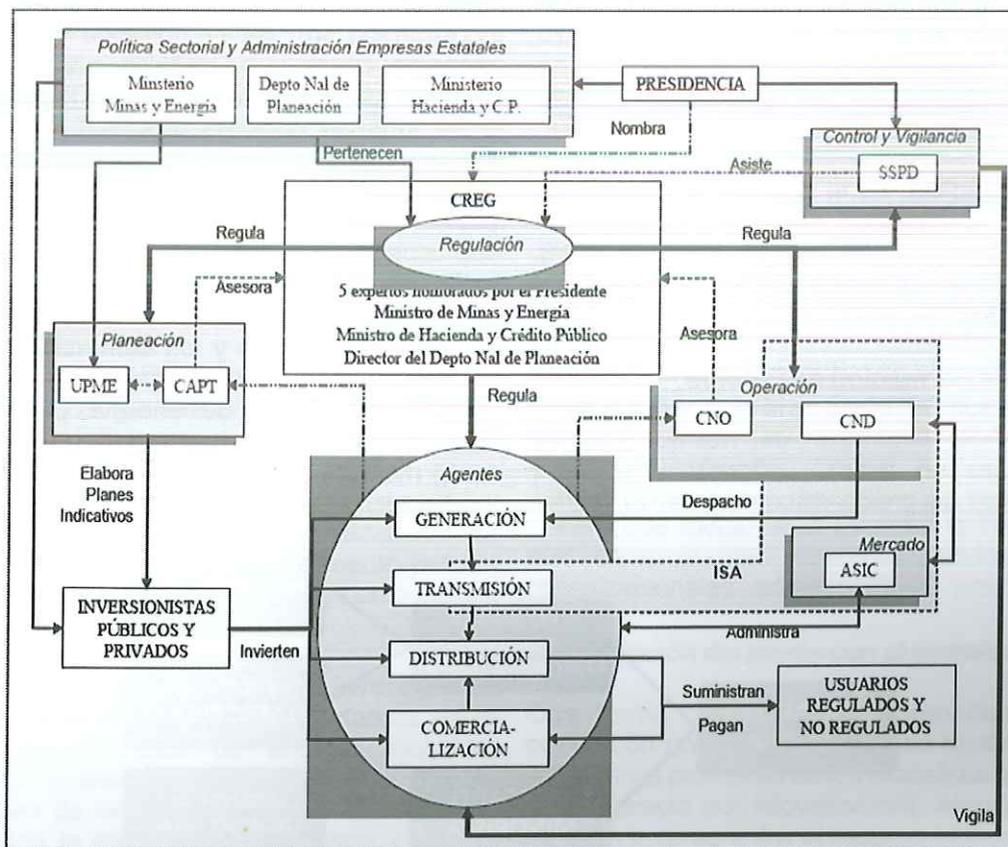


Figura 1. Estructura del mercado eléctrico Fuente: UPME

Como se observa en el organigrama, en el mercado eléctrico hay participación de diversas empresas dedicadas a los 4 elementos de la cadena productiva del sistema: Generación-Transmisión-Distribución-Comercialización, descritos a continuación:

**Generación:** Es la actividad de producir energía eléctrica mediante una planta conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y con capacidad instalada mayor o igual a 20 MW. En Colombia la mayor parte de la energía es generada por sistema hidráulico y sumando todas las tecnologías, la capacidad efectiva de generación es de 13.495,81 MW.

**Transmisión:** Esta actividad consiste en el transporte de grandes bloques de energía eléctrica a través de un conjunto de líneas, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV, o a través de redes regionales o interregionales de transmisión a tensiones inferiores.

**Distribución:** Es el transporte de energía por medio de unas redes y subestaciones que funcionan con tensiones menores de 220 Kilo voltios. Dichas redes no pertenecen al sistema de transmisión regional ya que prestan un servicio municipal o en las localidades del territorio nacional.

**Comercialización:** Es el negocio de compra de energía en el mercado mayorista (MEM) y la respectiva venta en el mismo mercado o los usuarios finales, los cuales pueden ser regulados o no regulados.

#### Sistemas de Formación de Precios

En la formación del precio de la energía se aplican 2 métodos de asignación del mismo: subasta multiproducto de precio uniforme y subasta multiproducto de precio discriminante. El primer

sistema consiste en la presentación de todas las ofertas por parte de los generadores especificando precio y cantidad al Centro Nacional de Despacho que las recibe y organiza por orden de mérito, establece el precio máximo de las ofertas y de acuerdo con la demanda programada para cada hora, procede a despachar cada planta generadora con el precio más alto obtenido en las ofertas, de tal manera que todos los agentes generadores venden la energía al precio máximo. Por otra parte el sistema de subasta multiproducto de precio discriminante asigna el precio que cada generador despachado ofrezca con la cantidad de MW/h correspondiente a la demanda programada. En Colombia el sistema que se utiliza es el de subasta multiproducto de precio uniforme.

#### Forma de Negociación de Energía en Colombia

Es importante señalar de manera clara cómo es negociada la energía eléctrica en Colombia puesto que de ahí se parte para identificar las posiciones de los agentes generadores y comercializadores además de las exposiciones que estos tienen en sus actividades de negociación, lo cual proporciona elementos de contexto claros y necesarios para analizar la medición del riesgo de los agentes más adelante.

De acuerdo a la literatura revisada, el mercado de energía en Colombia consta de 2 grandes partes.

- El mercado mayorista de energía, donde se realizan transacciones entre los generadores, los distribuidores y los comercializadores. A este mercado lo forman dos mercados diferentes (Bolsa de energía y contratos a largo plazo).
- El mercado minorista que atiende al usuario final directamente.



Figura 2. Esquema del mercado de energía. Fuente: Elaboración propia.

## Evidencia Empírica Nacional e Internacional

El análisis y la medición de riesgos de los precios diarios de energía eléctrica en Colombia han sido poco estudiados, salvo algunos estudios desarrollados en la Universidad EAFIT; no obstante, existen en la actualidad diversas investigaciones de orden internacional sobre modelos de predicción de precios de la energía eléctrica, y sobre la aplicación de metodologías para medir la volatilidad del precio *spot*; la cantidad de documentos disponibles se debe al desarrollo de los mercados de energía eléctrica como el Inglés, el Español, el reconocido *Nord Pool*, y el de California. Entre estos se destacan:

Weron (2006), realiza una completa descripción de los mercados de energía eléctrica de: Europa, Norteamérica, Nueva Zelanda y Australia con una explicación detallada tanto de la estructura de cada mercado como las formas de negociación de los mismos.

Rubia (2001), utiliza como metodología la Modelización en términos multivariantes OGARCH y MGARCH tomando como referencia los datos del mercado eléctrico español en el periodo comprendido entre el 1 de Enero de 1998 hasta el 31 de Octubre de 2000; a los cuales les realiza un análisis de estadística descriptiva y luego emplea las metodologías mencionadas que arrojan como conclusión que la volatilidad presenta patrones estacionales asociados a la periodicidad semanal.

Gil y Maya (2008), emplean modelos ARIMA, GARCH y EGARCH como análisis de la volatilidad del precio de energía eléctrica. Utilizan datos intradiarios entre el periodo de Julio 20 de 1995 y Diciembre 31 de 2006, aplicando técnicas de estadística descriptiva como fundamento para el análisis inicial de las series de precios en cuanto a su estacionariedad y normalidad.

Balbás Raquel (2007), realiza una investigación en la cual determina factores importantes en el mercado de derivados de energía eléctrica, haciendo un análisis detallado de las limitaciones tecnológicas de este mercado que dificultan en gran medida la gestión de los activos y de los riesgos energéticos.

## Análisis del Precio y sus Rendimientos

Este análisis se desarrolla con la serie de precios diarios obtenidos del sistema NEON, el cual está disponible en la página de la Compañía de Expertos en mercados S.A E.S.P. Se decidió utilizar los precios diarios por el problema de estacionalidad que está presente en el mercado, de tal manera que la serie sea útil para realizar un análisis completo por días, por semanas e incluso por meses. La serie inicia desde el primero de Enero de 2000 y va hasta el primero de Enero de 2010, con total de 3654 datos.

El primer paso para hacerse una idea del comportamiento del precio de la energía eléctrica es observar su gráfica en el horizonte de tiempo establecido para esta investigación (2000-2009).

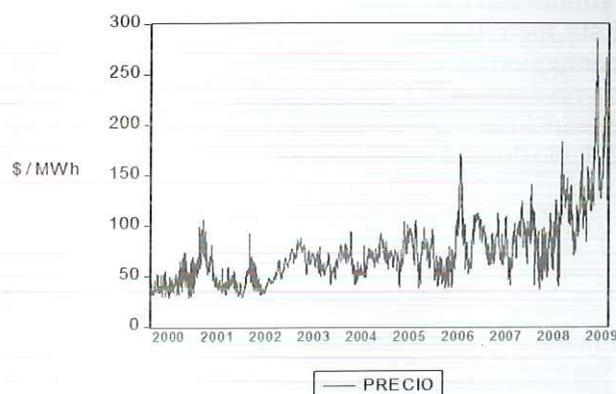


Figura 3. Comportamiento del precio Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el comportamiento del precio a lo largo del periodo establecido para la investigación (2000-2009), son muy marcados los cambios de precio de un día para otro en diferentes momentos del horizonte. El precio muestra en su comportamiento los efectos complejos de la actividad de oferta, demanda y la regulación, puesto que todos estos recogen la influencia de sus determinantes operacionales-tecnológicos, organizacionales - administrativos y regulatorios.

## Comparación del precio con el embalse ofertable

Otra forma de explicar el comportamiento del precio con una variable exógena fundamental es con el nivel promedio de los embalses comparado con el precio por kilovatio/hora, atendiendo a la relación inversa entre el recurso hídrico y el nivel de precios.

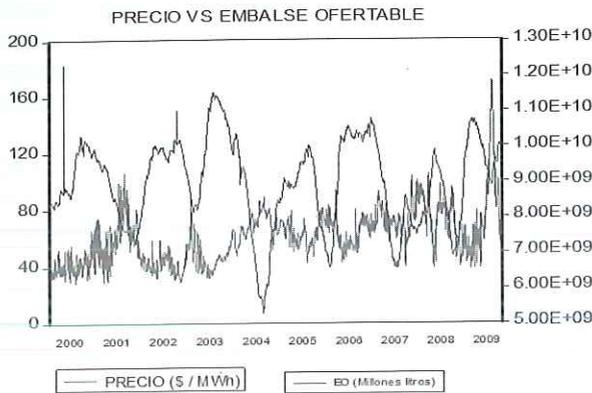


Figura 4. Precio comparado con el embalse ofertable. Fuente: Elaboración propia

### Cálculo y Análisis de Volatilidades

#### Volatilidad Histórica

Esta metodología asigna igual peso a todas los componentes de la serie precio, y se basa en el comportamiento histórico de las cotizaciones de la electricidad. La fórmula que se emplea para el cálculo de esta volatilidad es:

$$s = \sum \frac{(x - \mu)^2}{n - 1}$$

En que n es el tamaño de la muestra (3654 datos).

El cálculo por este método fue realizado mediante el software Excel empleando la función DESVEST a todo el rango de precios de la energía, el resultado obtenido fue de **10,9584%**. Dada la periodicidad de los datos, esta volatilidad de 10,9584% es diaria. En términos anuales la volatilidad de este activo sería  $\sigma^* \sqrt{t}$ , donde  $\sigma=10,9584\%$  y  $t=365$  días el resultado para la volatilidad anual sería: **209,3598%**.

#### Volatilidad Dinámica

A diferencia del método de volatilidad histórica, la metodología del suavizamiento exponencial captura el "dinamismo" de las variaciones de los precios en los mercados. El modelo de esta metodología posee un factor de decaimiento denominado  $\lambda$  (LAMBDA), que se mueve entre 0 y 1, el cual representa el efecto que poseen los datos que componen la serie sobre la volatilidad; es decir, mientras más cercano a cero sea este valor, los datos más recientes serán los que más influyan

en el comportamiento del precio de la electricidad; si, por el contrario, este dato se acerca a 1, la volatilidad dinámica asignará pesos uniformes a la observaciones y el resultado será una volatilidad histórica.

Para el cálculo por esta metodología se emplea la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{(1 - \lambda) \sum \lambda^{i-1} r_i}$$

En que,  $i$  representa un contador de los rendimientos de la serie de precios, los cuales deben estar numerados desde el más reciente hasta el más antiguo.

Este procedimiento fue aplicado a la serie de precios de energía eléctrica y como resultado se obtuvo una volatilidad diaria de 14,0068%, lo que en términos anuales se traduciría en 267,5991%.

### Modelos ARCH – GARCH

El proceso consiste en realizar las pruebas de estacionariedad de la serie en niveles (\$/kwh), la transformación de la misma con las respectivas pruebas, posteriormente la identificación de los modelos ARIMA para realizar la predicción de errores, la estimación de los modelos ARCH-GARCH para obtener la volatilidad incondicional. Como un primer paso se genera el correlograma de la serie en niveles para comprobar la no estacionariedad del precio de la energía eléctrica.

Correlogram of REND_LOG						
Date: 04/13/10 Time: 10:04						
Sample: 1 3654						
Included observations: 3653						
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.243	-0.243	215.03	0.000
		2	-0.080	-0.148	238.65	0.000
		3	-0.073	-0.143	258.30	0.000
		4	-0.031	-0.114	261.90	0.000
		5	-0.051	-0.132	271.32	0.000
		6	-0.033	-0.134	275.34	0.000
		7	0.209	0.136	435.15	0.000
		8	0.009	0.083	435.42	0.000
		9	-0.092	-0.038	466.17	0.000
		10	-0.035	-0.035	470.77	0.000
		11	-0.031	-0.049	474.22	0.000
		12	-0.076	-0.114	495.17	0.000
		13	0.027	-0.050	497.84	0.000
		14	0.144	0.066	574.06	0.000

Figura 5. Correlograma de los rendimientos. Fuente: E-views 5

Con el correlograma de los rendimientos de la serie se observa como en las barras de la autocorrelación (MA) sobresalen en el rezago 1, 7 y 21; de igual manera en la autocorrelación parcial (AR) sobresalen en los rezagos 1,2,3,6 y 7, lo cual es un indicio de los posibles rezagos para estimar los modelos autorregresivos y de medias móviles; de acuerdo con esto, se identificaron los siguientes modelos ARIMA haciendo las combinaciones correspondientes entre los rezagos de cada orden así:

Dependent Variable: LN_PRECIO				
Method: Least Squares				
Date: 04/13/10 Time: 00:14				
Sample (adjusted): 9 3654				
Included observations: 3646 after adjustments				
Convergence achieved after 10 iterations				
Backcast: 8				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(7)	0.220809	0.016155	13.66776	0.0000
MA(1)	-0.364306	0.015435	-23.60285	0.0000
R-squared	0.130498	Mean dependent var		0.000362
Adjusted R-squared	0.130259	S.D. dependent var		0.109590
S.E. of regression	0.102203	Akaike info criterion		-1.723161
Sum squared resid	38.06332	Schwarz criterion		-1.719759
Log likelihood	3143.322	Durbin-Watson stat		1.911617

Tabla 1. Estimación del modelo AR(7) MA(1). Fuente: E-views 5

El proceso ARCH viene definido por la siguiente expresión:

$$y_t = \varepsilon_t \sigma_t$$

$$\sigma_t^2 = \alpha + \sum_{i=1}^q \alpha_i r_{t-i}^2$$

Teniendo en cuenta la especificación del ARCH y una vez escogido el modelo ARIMA (AR(7) MA(1)), se generan los residuos al cuadrado y su correlograma con el fin de establecer en primera instancia el componente autorregresivo del modelo; es decir, si en el correlograma de los residuos al cuadrado se observa que el comportamiento de los datos

está fuera de los límites establecidos en la sección de autocorrelación, se dice que el componente es netamente GARCH y si las barras del correlograma sobrepasan el límite en la sección de correlación parcial, se dice que el modelo final posee un componente netamente ARCH; por el contrario, si no se presentan estos hechos, el modelo resultante podría tener los dos componentes.

A continuación se presentan las estimaciones del modelo adecuado para el cálculo de la volatilidad condicional (de corto plazo) e incondicional (de largo plazo).

Dependent Variable: REND_LOG				
GARCH = C(3) + C(4)*RESID(-1)^2				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
AR(7)	0.181030	0.009875	18.33230	0.0000
MA(1)	-0.366419	0.010378	-35.30750	0.0000
Variance Equation				
C	0.006301	8.21E-05	76.70823	0.0000
RESID(-1)^2	0.467532	0.026068	17.93528	0.0000
R-squared	0.129053	Mean dependent var		0.000362
Adjusted R-squared	0.128335	S.D. dependent var		0.109590
S.E. of regression	0.102316	Akaike info criterion		-1.859880
Sum squared resid	38.12659	Schwarz criterion		-1.853076
Log likelihood	3394.561	Durbin-Watson stat		1.904631

Tabla 2. Estimación del modelo ARCH (1) GARCH (0) Fuente: E-views 5

Entonces, el proceso que modela la varianza es:

$$\sigma_t^2 = 0,006301 + 0,467532 \cdot r_{t-1}^2$$

Los resultados de la estimación del modelo ARCH arrojan los siguientes resultados para el cálculo de la volatilidad son:

CONSTANTE	0,006301
ARCH	0,467532
Volatilidad incondicional	10,87822%

Tabla 3. Coeficientes de estimación del modelo ARCH. Fuente: Elaboración propia

Por tanto, el modelo de volatilidad con base en la estimación del ARCH, queda especificado de la siguiente manera en la hoja de cálculo:

CONSTANTE		0,006301	
ARCH		0,467532	
Volatilidad incondicional		10,87822%	

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i r_{t-i}^2$$

PRECIO ENERGÍA	RETORNO LOGARITMICO	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (VOLATILIDAD)	
			VOLATILIDAD (+)	VOLATILIDAD (-)
33,16			0,0000%	0
33,19	0,0904%	0		
37,91	13,2966%	=+constante+ARCH <sup>1</sup> *E14 <sup>2</sup>		-0,079381247
42,45	11,3112%	0,01456698	12,0694%	-0,120693759
41,39	-2,5288%	0,01228275	11,0828%	-0,110827588
36,95	-11,3474%	0,00659997	8,1240%	-0,081240196
38,74	4,7307%	0,01232107	11,1000%	-0,11100031
32,28	-18,2425%	0,00734731	8,5716%	-0,085716479
32,28	0,0000%	0,02185991	14,7851%	-0,147850972
32,28	0,0000%	0,00630100	7,9379%	-0,079378838

Figura 6. Modelo para cálculo de volatilidad. Fuente: Elaboración propia

### Comparación de Volatilidades

MÉTODO	ESPECIFICACIÓN DEL MODELO	RESULTADO
Histórica (clásica)	$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}}$	10,9584%
Suavizamiento exponencial (Dinámica)	$\sigma = \sqrt{(1 - \lambda) \sum \lambda^{i-1} r_i^2}$	14,0983%
ARCH	$y_t = \varepsilon_t \sigma_t$ $\sigma_t^2 = \alpha + \sum_{i=1}^q \alpha_i r_{t-i}^2$	10,8782%

Tabla 3. Resultados de las volatilidades y especificaciones de los modelos. Fuente: Elaboración propia

### Medición del Riesgo

Ante esta probabilidad de pérdida debida a la alta volatilidad de este activo, se encuentra adecuado emplear un método basado en principios estadísticos que permite cuantificar las pérdidas generadas por el comportamiento del mercado; esta metodología se denomina VAR *Value At Risk*.

Para el caso de investigación se calculó el VAR en una compra de energía de 360.000 Kw/h a un

precio de \$120,70 Kw/h; es decir, una transacción de \$43'452.000, con un nivel de confianza del 95% y con un horizonte de tiempo de tipo diario. Se empleó la volatilidad calculada por el método histórico, dinámico y el método autorregresivo ARCH; estas volatilidades fueron:

V. HISTÓRICA	V. DINÁMICA	V. ARCH
10,9584%	14,0983 %	10,8782%

Tabla 4. Volatilidades. Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos a partir del uso de estas desviaciones se resumen en la siguiente tabla:

VAR(histórica)	%VAR (histórica)	VAR (dinámica)	%VAR (dinámica)	VAR (arch)	%VAR (arch)
\$(7.832.200,43)	-18,0249%	\$(10.076.364,75)	-23,1896%	\$(7.774.886,66)	-17,8930%

Tabla 5. Valor en riesgo. Fuente: Elaboración propia

De estos resultados se opta por recalcar el VAR obtenido a partir de la volatilidad obtenida por ARCH, ya que esta metodología es una vía más estructurada en cuanto a técnica de cálculo debido a que es producto de un proceso econométrico, lo que la hace una manera más precisa en el momento de hallar la volatilidad de la serie de precios de la energía eléctrica.

### Backtesting del VaR Paramétrico

Luego de calcular el Valor en Riesgo (VaR) para una cantidad hipotética de energía contratada por un comercializador, se realizó una prueba de *Backtesting* con datos de 3 meses posteriores a la base de datos analizada en el trabajo, es decir, que se han utilizado los meses de Enero, Febrero y Marzo de 2010 para observar el comportamiento de las pérdidas estimadas contra las pérdidas reales del modelo de valor en riesgo.

Ri	Fecha	Precio	VA	Vol t+1	var (-)	Pérdida o Ganancia Real	var (+)
	01/01/2010	120,7	\$ 43.452.000				
-1,1751%	02/01/2010	119,29	\$ 42.944.400	10,8782%	\$ (7.774.886,66)	\$ (507.600,00)	\$ 7.774.886,66
2,3692%	03/01/2010	122,15	\$ 43.974.000	7,9784%	\$ (5.635.753,00)	\$ 1.029.600,00	\$ 5.635.753,00
3,4755%	04/01/2010	126,47	\$ 45.529.200	8,1015%	\$ (5.859.882,39)	\$ 1.555.200,00	\$ 5.859.882,39
-3,6312%	05/01/2010	121,96	\$ 43.905.600	8,2860%	\$ (6.205.277,13)	\$ (1.623.600,00)	\$ 6.205.277,13
3,6707%	06/01/2010	126,52	\$ 45.547.200	8,3171%	\$ (6.006.490,68)	\$ 1.641.600,00	\$ 6.006.490,68
5,7514%	07/01/2010	134,01	\$ 48.243.600	8,3252%	\$ (6.237.143,83)	\$ 2.696.400,00	\$ 6.237.143,83
13,7934%	08/01/2010	153,83	\$ 55.378.800	8,8586%	\$ (7.029.646,87)	\$ 7.135.200,00	\$ 7.029.646,87
0,2338%	09/01/2010	154,19	\$ 55.508.400	12,3273%	\$ (11.228.899,44)	\$ 129.600,00	\$ 11.228.899,44
25,4566%	10/01/2010	198,89	\$ 71.600.400	7,9395%	\$ (7.249.010,43)	\$ 16.092.000,00	\$ 7.249.010,43

Tabla 6. Backtesting VaR paramétrico (muestra). Fuente: Elaboración propia.

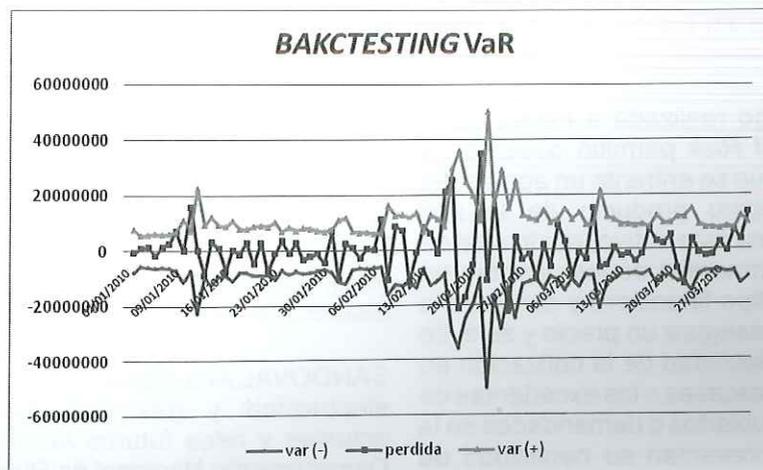


Figura 7. Backtesting VaR. Fuente: Elaboración Propia.

## Conclusiones

El mercado eléctrico colombiano a través de los años ha evolucionado integralmente, es decir, se han tenido importantes avances en materia regulatoria, de planeación y administración del sistema hasta tal punto que se puede asegurar un suministro de energía en el largo plazo, con las contingencias necesarias para atender un desabastecimiento del recurso hídrico que, como se señaló en el trabajo, es el mayor componente de generación de energía en Colombia.

La revisión de la literatura existente relacionada con el tema de investigación fue la base fundamental para integrar componentes teóricos al presente trabajo, ya que estos estudios sirvieron de referente conceptual para la contextualización de los objetivos, además que gracias a una revisión amplia y extensa de investigaciones anteriores de órdenes nacional e internacional fue posible contar con precisiones metodológicas en diferentes mercados y extraer pautas aplicables a la situación local. Se deja como espacio para investigar en futuros trabajos de grado sobre el VaR condicional.

La utilización de diferentes técnicas para el cálculo de la volatilidad permitió tener más de un referente estadístico en cuanto a la variación de los precios a lo largo de la serie observada; siendo la técnica econométrica ARCH la más apropiada para realizar cualquier cálculo pertinente a volatilidad del precio de la energía eléctrica, principalmente porque esta metodología no solo emplea procesos autorregresivos sino que su ejecución permite capturar el dinamismo del mercado en cuanto a fluctuaciones en las cotizaciones de la energía.

La medición del riesgo realizada a través de la metodología *Value At Risk* permitió observar la pérdida máxima a la que se enfrenta un agente del mercado eléctrico como producto de la alta volatilidad que presenta este activo, por lo cual se explica la iniciativa primordial de los agentes en realizar contratos de tipo financiero y contratos a largo plazo donde se asegure un precio y se evite la exposición a la variabilidad de la cotización en bolsa; sin embargo la escasez o los excedentes de los agentes que son cubiertos o demandados en la bolsa de energía representan su necesidad de acudir al mercado y exponerse al riesgo en los

precios. Es importante anotar que mercados evolucionados han desarrollado instrumentos de cobertura en materia de cantidades y precios representados por contratos a futuro transados en un mercado organizado tal es el caso del *NordPool* que en la actualidad posee el mercado de derivados de energía mejor estructurado del mundo.

## Bibliografía

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024 de 1995. Por la cual se reglamentan los aspectos comerciales del mercado mayorista de energía en el sistema interconectado nacional, que hacen parte del Reglamento de Operación.

ÁLVAREZ SIERRA Santiago y TAMAYO PLATA Mery. Descripción del funcionamiento del sector eléctrico colombiano, EAFIT, (2006). 38p.

UPME. Visión del mercado eléctrico Colombiano. 2004

BALBÁS Raquel. Valoración y cobertura con funciones generales de riesgo: aplicación a mercados energéticos derivados. Memoria presentada para obtener el Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Complutense de Madrid, (2007). 90 p.

VELÁZQUEZ HENAO Juan, DYNER RESONSEW Isaac y CASTRO SOUZA, Reinaldo. ¿Por qué es tan difícil obtener buenos pronósticos de los precios de la electricidad en mercados competitivos?, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia (2006). 24 p.

VELÁSQUEZ HENAO Juan David. Construcción de Escenarios de Pronóstico del Precio de Electricidad en Mercados de Corto Plazo, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad Nacional de Minas, Escuela de Sistemas, Programa de Doctorado en Ingeniería – Área Sistemas Energéticos, Noviembre de 2008.

SANDOVAL Ana María. Monografía del sector de electricidad y gas colombiano: Condiciones actuales y retos futuros Archivos de Economía. Departamento Nacional de Planeación. Dirección de estudios Económicos. (2004). 121 p.

- RUBIA SERRANO Antonio. Comportamiento del precio y volatilidad en los mercados spot de electricidad. Universidad de Alicante (2001). 51 p. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/750/75061206/75061206.html> <
- MACÍAS VILLALBA, Gloria. Apuntes de clase de Administración del Riesgo, Docente de la facultad de Ingenierías Administrativas. Programa de Ingeniería Financiera de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Bucaramanga. 2010
- GUJARATI, Damodar. Econometría. Cuarta Edición. México: Editorial McGraw Hill. 2003
- MELO VELANDIA, Luis Fernando. Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y el ES a la tasa intercambiaria de Colombia. En: Banco de la República. [en línea]. Disponible en: [http://www.banrep.gov.co/documentos/seminarios/pdf/VaR\\_ES\\_Melo\\_Becerra.pdf](http://www.banrep.gov.co/documentos/seminarios/pdf/VaR_ES_Melo_Becerra.pdf)
- BRAVO, Mendoza Oscar; SÁNCHEZ, Celis Marleny. Gestión Integral de Riesgos Tomo I. Bogotá: Bravo & Sánchez E.U. 2006. 258p.
- COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS. Estructura del Sector Eléctrico Colombiano. [En línea]. [http://www.creg.gov.co/html/i\\_portals/index.php?p\\_origin=internal&p\\_name=content&p\\_id=MI-59&p\\_options=>](http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-59&p_options=>)
- LEÓN, Ángel y RUBIA Antonio, S.A. "Comportamiento del Precio y Volatilidad en los Mercados Spot de Electricidad." Universidad de Alicante. 2001
- De LARA HARO, Alfonso. Medición y Control de Riesgos Financieros. 2ª Edición. México: Editorial Limusa. 2002
- WERON, Rafal. "Modeling and forecasting Electricity loads and prices, a statistical approach". 1ª Ed. Editorial. Jhon Wiley & Sons LTD. 2006.
- EXPERTOS EN MERCADO XM. Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano. [En línea] <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>
- Apuntes de Estadística para profesores Curso 2006/2007 Concepción Bueno García Tomás Escudero Escorza Instituto de Ciencias de la Educación Universidad de Zaragoza
- GIL, Martha María y MAYA, Ochoa .Cecilia. Modelación de la volatilidad de los precios de la energía eléctrica en Colombia. En: Revista Ingenierías [en línea]. Número 12 (2008). Disponible en: [http://www2.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web\\_archivos/page0001.htm](http://www2.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web_archivos/page0001.htm)
- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. Mercado Eléctrico Colombiano. [En línea]. [http://www2.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web\\_archivos/page0001.htm](http://www2.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web_archivos/page0001.htm)