

## VARIABLES FUNDAMENTALES EN UN MODELO DE PRONÓSTICO PARA EL PRECIO DEL GAS NATURAL EN MEXICO

Gabriela Hernández, Luis Ortiz, Mauricio Rabelo, Héctor Urbina y Estefanía Pérez Pira<sup>1</sup>

### Resumen

Los modelos de pronóstico para el precio de gas natural han probado ser poco eficientes, en tanto no consideran el efecto que los llamados determinantes fundamentales tienen en la dinámica de los precios para este bien. En este contexto, se desarrolla un modelo que toma en cuenta el efecto que los fundamentales del mercado de gas natural tienen sobre la dinámica de los precios. Lo anterior se realiza a través de la metodología de cadenas de Markov, la cual permite introducir diferentes escenarios de volatilidad en la variable dependiente. Se encuentra que los pronósticos basados en el modelo de Markov AR(1) tiene un poder predictivo mayor que el modelo GARCH(1,1), el cual no considera la posibilidad de cambios en los escenarios prevalecientes en la dinámica de precios del gas natural.

Palabras clave: *Fundamentales, Henry Hub, volatilidad, pronóstico.*

### INTRODUCCIÓN

La creciente demanda por gas por parte tanto del sector industrial como residencial, y desde hace poco más de una década del sector energético, ha incrementado la necesidad de pronósticos más certeros de precios del gas en el corto plazo. La interrelación que existe entre los mercados de gas natural norteamericanos y la divergencia en las formas estructurales que estos presentan, hacen urgente la simplificación de la información de precios, haciendo posible el reducir los costos de transacción en este mercado.

Debido a la regulación de los precios en el mercado de gas mexicano, el contar con pronósticos confiables de precios tendría profundas implicaciones no sólo para PEMEX, sino también para el sector industrial y energético. Tal es el caso de las compañías generadoras de electricidad con base al proceso de ciclo combinado, cuyo principal insumo es el gas. Lo anterior toma mayor relevancia en un entorno en el cual las fuentes combustibles alternativas, como el Metano, aún no son tan redituables.

Se han realizado diversas investigaciones en torno al estudio de la volatilidad de los precios del gas natural. De igual manera, se han implementado modelos de pronóstico utilizando como base el mercado de futuros, de combustibles y sustitutos, mercados energéticos relacionados y modelos que consideran el efecto que los anuncios de expertos tienen sobre los precios. Sin embargo, la inclusión de variables directamente relacionadas a la oferta y demanda del mercado ha surgido como la alternativa más efectiva. La teoría

---

<sup>1</sup> Los puntos de vista expresados en este documento corresponden únicamente a los autores y no necesariamente reflejan las ideas del ITESM.

detrás de la inclusión de este tipo de variables parte de la premisa de que la volatilidad en el comportamiento de los precios del Gas Natural puede ser descrita utilizando las variables fundamentales del mercado, entre las cuales se encuentran el nivel de inventarios y las condiciones climáticas Bessler, Gan, Leathan, Qin y Wu (2010).

Con el objetivo de incluir el poder explicativo de las variables fundamentales, se introduce el modelo propuesto por Hamilton (1989), a través del cual es posible realizar estimaciones que consideren la existencia de diferentes escenarios en la dinámica de los precios del gas, incorporando para esto el método de cadenas de Markov. Simultáneamente, se incluirán en el modelo variables que manifiesten el impacto que tanto el análisis de expertos, como los precios de mercados energéticos similares, pudieran tener a través de shocks en la oferta y la demanda.

La presente investigación se encuentra compuesta por las secciones siguientes: el segundo apartado presenta una revisión breve de conceptos fundamentales. Posteriormente, en la tercera sección se lleva a cabo la exploración de la literatura relacionada al análisis de precios del gas y otros commodities, así como la aplicación de estos modelos en otros estudios similares. En la cuarta sección se describe la base de datos, ahondando de igual forma en la metodología y los supuestos a emplear para la construcción del modelo. En la quinta parte se muestran los resultados, evaluando su significancia y apego a lo esperado por el estudio. Finalmente, en la sexta sección se concluye con las implicaciones del modelo de pronóstico y acerca de aquellas áreas de posible investigación posterior.

## MARCO TEÓRICO

En un mercado de competencia perfecta, el precio de un bien  $x$  está determinado por el equilibrio entre la oferta y la demanda. Dicho equilibrio considera la existencia de mercados de bienes sustitutos, un aumento en el precio de un sustituto del bien  $x$  aumenta la demandada de  $x$ , ello puede llevar eventualmente a un incremento en el precio de  $x$ . Por otra parte, tanto la oferta como la demanda de un bien son afectadas por factores llamados fundamentales que les impactan directamente y son importantes para el entendimiento de la dinámica del mercado de cualquier bien.

La teoría del almacenamiento o inventario de bienes afirma que un agente económico que posee inventario de un bien, cuenta con flexibilidad de poder ofertarlo en el tiempo  $t$  en que sus ganancias se maximicen. De esa forma, el agente decidirá venderlo en un tiempo  $t+1$ , si el precio futuro descontado del mismo es por lo menos igual al establecido en el tiempo  $t$  Working (1949). Los precios futuros son fijados a través de contratos forward, los cuales son estandarizados y normalizados a través de los mercados de futuros. Al generarse dicho mercado se simplifican los procesos de renegociación de contratos y se produce un ahorro de los costos de negociación, Bodie, Kane y Marcus (2008).

La existencia de un mercado de futuros abre la posibilidad a que los agentes económicos realicen arbitraje, es decir, una compra-venta simultánea de valores diferentes de un bien,

que funcionan como sustitutos, con el objetivo de obtener un rendimiento sin la necesidad de exponerse a un tipo de riesgo. Por otra parte, un individuo también puede especular, haciendo uso estratégico de un derivado financiero con el objetivo de cambiar o aumentar su exposición al riesgo, Ross, Westerfield y Jaffe (2009). Las decisiones de un agente económico especulador dependerán de sus preferencias hacia los beneficios que le proporcionará disponer del bien en un periodo en específico.

Un factor que influye en las preferencias y decisiones de los agentes económicos son los shocks externos. Éstos son identificados como aquellos acontecimientos ajenos al mercado bajo estudio que influyen en el mismo. Circunstancias ambientales, estacionales, económicas y de expectativas, afectan los niveles demandados o producidos de un bien.

Los comportamientos de los precios de los bienes, que sintetizan la información de sus mercados, son estudiados por analistas económicos a partir de factores fundamentales, como los antes mencionados. Esto, considerando que los precios no siguen totalmente un proceso random walk (Levich, 2001). De igual forma y en congruencia con lo anterior, los pronósticos de dichos comportamientos son analizados bajo distintos escenarios, con el objetivo de representar de manera más precisa la dinámica del precio. Esos escenarios parten de supuestos que buscan precisar los resultados de los modelos de pronóstico.

Un mercado donde las predicciones con base en fundamentales han sido usadas con mayor frecuencia, es el del tipo de cambio. Según Levich (2001), el tipo de cambio actual refleja los valores esperados de las variables macroeconómicas futuras, los cuales pueden reaccionar de distinta manera ante noticias que modifiquen los valores de éstas. Entre las principales implicaciones de los modelos de determinación de tipo de cambio, radica el hecho de que asimismo es posible medir otros activos financieros ocupando la misma metodología.

Los factores fundamentales sirven no únicamente para describir la dinámica de un tipo de cambio, pues éstos son usados tanto por analistas económicos como financieros para la determinación de otros precios. La hipótesis a comprobar en el presente documento de investigación es si el comportamiento de los fundamentales del mercado de gas natural describen las variaciones en el precio de dicho bien. Así, se estudiará en qué medida es factible utilizar las variaciones de los factores fundamentales para la modelación de pronósticos que describan el comportamiento del precio del gas en el corto plazo.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

El tema de la demanda y oferta del gas natural, así como de los factores que pueden causar un cambio en su precio, ha sido estudiado por diferentes autores quienes han desarrollado diversos modelos con la finalidad de hacer predicciones del precio de dicho bien en el corto plazo, así como de analizar qué factores afectan su precio y en qué magnitud. Entre los modelos estudiados destacan aquéllos que pretenden estimar la relación entre el precio del gas natural y sus fundamentales a través de un modelo lineal; por otro lado, existen modelos que intentan incluir los efectos de los anuncios de analistas

financieros en la determinación del precio futuro del gas natural. Finalmente, se ha presentado un creciente interés por los modelos que incluyen variaciones temporales de acuerdo a un proceso de Markov, ya que dicho modelo permite hacer predicciones del precio de los bienes considerando que existen escenarios que no son claros para el observador, es decir, el investigador no puede determinar claramente el estado en el que se está y se necesita introducir probabilidades para cada escenario.

Dado que la demanda de un bien se ve afectada por el cambio en precios de los bienes sustitutos, diversos autores han estudiado la relación que existe entre el precio del gas natural y de otros energéticos que pueden funcionar como sustitutos en el largo plazo. Cabe mencionar que, en el corto plazo, la posibilidad de sustitución puede ser limitada debido a que el cambio entre fuentes energéticas implica una inversión en la tecnología necesaria para aprovechar el otro tipo de fuente energética. Chuliá y Furió (2009) se enfocan en el estudio de la correlación entre el precio de futuros de gas natural y el precio de la electricidad para el caso español. Para lograr su objetivo utilizan un modelo de vector de corrección de errores en conjunto con una prueba de causalidad de Johansen. Emplean un modelo GARCH multivariado para observar las relaciones entre la volatilidad de los mercados antes mencionados. Entre los resultados encontrados destaca el hecho de que existe una relación de causalidad entre los mercados; los autores establecen que el precio de los futuros de gas natural juegan un papel muy importante en la formación del precio de la electricidad, asimismo, establecen la misma causalidad en cuanto a la volatilidad de los mercados.

Villar y Joutz (2006) analizan la relación que existe entre los precios del gas natural y del petróleo crudo en el mercado estadounidense. En su investigación estiman un modelo de vector autorregresivo, a través del cual comprueban la existencia de una cointegración entre los precios de las dos fuentes de energía. De esta forma, se puede observar que existe una relación entre los precios de otros energéticos con el precio del gas natural.

Las expectativas de los individuos que participan en el mercado de un commodity influyen en gran medida en los precios spot y futuros de los bienes. Para el caso del gas natural resulta importante la cantidad almacenada del bien, ya que cuando el almacén se encuentra por debajo del nivel promedio se espera un aumento en el precio del gas, lo cual es demostrado por Serletis y Shahmoradi (2006). Gay, Simkins y Turak (2007) estudian el impacto que tienen los anuncios de los analistas del mercado del gas natural en los precios del mismo, ya que éstos proveen información sobre los inventarios existentes. En dicho análisis, basado en la hipótesis de expectativas racionales, se encuentra que el mercado de gas natural responde a los pronósticos estimados por los analistas, poniendo un énfasis diferenciado en cada opinión dependiendo del desempeño previo del analista.

Existen también otros estudios que analizan los impactos de anuncios en los precios de futuros de gas natural, entre ellos destacan Linn y Zhu (2004), quienes estudian la volatilidad de los precios de los futuros de gas natural a raíz de anuncios de la American Gas Association (AGA) y la Energy Information Administration (EIA); encuentran que dichos anuncios son responsables de la volatilidad en el día de la publicación. Chiou-

Wei, Linn y Zhu (2007) extienden el estudio inmediato anterior al investigar las reacciones de los precios spot y de futuros del gas natural a los anuncios de la EIA condicionales a las expectativas del mercado.

Algunos autores como Schwartz y Smith (2000), han empleado modelos lineales con el fin de determinar el precio del gas natural. Sin embargo, existen investigaciones que aseguran que un modelo lineal no logra capturar la dinámica en el movimiento de los precios. Dincerler, Khokher y Simin (2005) aseguran que un modelo que permite el movimiento de régimen ayuda a modelar mejor la dinámica de precios que los modelos de un sólo régimen. Asimismo, el problema de utilizar modelos de un sólo régimen no se limita al caso del gas natural, sino a diversas situaciones macroeconómicas y financieras. Goodwin (1993) asegura que los modelos lineales son incompatibles con la asimetría que existe entre períodos de expansión y contracción. Esta aseveración también ha sido documentada por Neftci (1984), Stock (1987), Diebold y Rudebusch (1990) y Sichel (1993).

Hamilton (1989) introduce un modelo que utiliza Cadenas de Markov de tiempos alternos (Markov chain time-switching model), el cual permite hacer estimaciones con cambios de regímenes. Este resulta útil cuando la variable de la serie no estacionaria bajo estudio sufre cambios discretos ocasionales, que no resultan observables para el investigador. Dado que los cambios no son observables, se deben estimar probabilidades de que suceda cierto régimen o estado, basándose en el comportamiento de la serie que es observable. Hamilton (1989) desarrolla un algoritmo para poder estimar dichas probabilidades, además proporciona los fundamentos para realizar pronósticos para los valores futuros de la serie. El modelo propuesto por Hamilton ha sido utilizado por diversos autores, ya que permite explicar una mayor proporción de la volatilidad en los precios de algunas variables económicas. Asimismo, se han realizado múltiples modificaciones al modelo con el fin de encontrar un mejor ajuste del pronóstico estimado.

Engel y Hamilton (1990) utilizan el modelo antes mencionado para el caso de los tipos de cambio entre el Dólar y el Marco; el Dólar y la Libra; y finalmente el Dólar y el Franco. Encuentran que estos tipos de cambio pueden ser descritos a través de dicho modelo. Por otra parte, Engel (1994) utiliza el modelo de Hamilton (1989) para el caso de 18 divisas en libre flotación; encuentra que el modelo no lleva a un mejor pronóstico de las variables que un modelo de random walk. Goodwin (1993) utiliza el modelo para hacer un análisis del Producto Nacional Bruto para ocho países desarrollados en la época de la post guerra, encontrando que es capaz de explicar una mayor proporción de la volatilidad que los modelos lineales. Por otra parte, Kim (1993) analiza los cambios de régimen y la relación que existe entre las tasas de inflación y la incertidumbre sobre la inflación a través del modelo mencionado. Finalmente, el enfoque que propone cambios en regímenes también ha sido empleado en pronósticos para el precio de petróleo crudo, gas natural, oro y cobre por Dincerler, Khokher y Simin (2005), quienes obtienen mejores resultados que con ecuaciones que no permiten cambios en regímenes.

Una de las modificaciones al modelo propuesto por Hamilton (1989) fue la especificación de heteroscedasticidad condicional autorregresiva (ARCH) introducida por Engel (1982).

Dicha especificación permite una mejor estimación de la volatilidad al usarse en conjunto con el modelo de cambios de Markov. Hamilton y Susmel (1994) hacen uso de esta modificación al permitir que se den cambios inesperados en los parámetros del proceso ARCH, el cual es utilizado para modelar la volatilidad de la variable en cuestión. Asimismo, Brunner (1991) lo utiliza para estudiar la inflación y Cai (1994) para el caso de las tasas de interés y del rendimiento de los bonos estadounidenses. Dueker (1997) analiza el caso de la volatilidad en los mercados de acciones y realiza una comparación entre el modelo de Hamilton (1989) con la especificación propuesta por Engel (1982), pero suponiendo que la varianza sigue un proceso GARCH. Finalmente, Bessler et al. (2010) hacen una aplicación del modelo de Hamilton para el caso específico del precio de futuros de gas natural en Estados Unidos; en dicho estudio introducen el proceso GARCH para tomar en cuenta la heteroscedasticidad condicional. Se realizan también pronósticos para el precio del gas natural y encuentran que el modelo con cambios de régimen de Markov es capaz de generar pronósticos relativamente buenos en un horizonte de tiempo de hasta diez semanas. Dentro de la misma investigación, se elaboraron pronósticos sin incluir la posibilidad de cambios de régimen, sin embargo éstos no fueron capaces de generar valores más apegados al precio actual del gas natural en el mismo horizonte temporal.

En la presente investigación se utilizará el modelo propuesto por Hamilton (1989), ya que permite analizar los posibles cambios en el estado del mercado del gas natural y se ha comprobado que tiene una mejor capacidad de pronóstico que modelos alternativos. Asimismo, se hará una comparación entre los resultados obtenidos partiendo del modelo antes mencionado y aquéllos resultantes de un modelo GARCH sin posibilidad de cambio de régimen, esto con la finalidad de corroborar que el modelo de Hamilton tiene la capacidad de generar mejores pronósticos.

## METODOLOGÍA

Para el modelo de predicción de precios del gas natural en México se utilizó el planteamiento de regímenes cambiantes propuesto por Hamilton (2005). En éste se introduce la posibilidad de que exista un cambio en el comportamiento de la serie de tiempo de la variable económica bajo estudio, en este caso el precio del gas natural. Considerando una sola variable,  $y_t$ , cuyo comportamiento puede ser descrito por un modelo autorregresivo de primer orden,

$$y_t = c_1 + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$$

con  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ , el cual parece describir correctamente el comportamiento de la variable para  $t = 1, 2, \dots, t'$ . Sin embargo, a partir de  $t'+1$  parece existir un cambio importante en el comportamiento de la variable, que es mejor descrito por:

$$y_t = c_2 + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$$

para  $t = t'+1, t'+2, \dots$ . Este cambio de intercepto puede ayudar a mejorar los pronósticos del modelo. Sin embargo, el elegir arbitrariamente  $t'$  resulta insatisfactorio, ya que implicaría que alguien es capaz de predecir en  $t=1$  cuándo sucedería el cambio en el comportamiento en la variable. En lugar de esto, debe haber ciertas fuerzas externas impredecibles que producen el cambio, es por esto que en lugar de pensar en dos modelos que describen a la variable antes y después de  $t'$ , se debe considerar un modelo más amplio que contiene los dos anteriores:

$$y_t = c_{s_t} + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde  $s_t$  es una variable aleatoria que resulta de cambios institucionales o del mercado, que provocan que la variable cambie de estado. La especificación correcta requiere de un modelo probabilístico que describa el cambio de  $s_t = 1$  a  $s_t = 2$ . Hamilton (2005) indica que la forma más simple de especificación es que  $s_t$  sea una realización de una cadena de Markov de dos estados, cuya distribución de probabilidad está descrita por:

$$\Pr(s_t = j | s_{t-1}, s_{t-2} = k, \dots, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) = \Pr(s_t = j | s_{t-1} = i) + p_{ij}$$

Esta especificación supone que la probabilidad sólo se ve afectada por el régimen o estado del periodo anterior, no por la historia, por lo que se debe tomar sólo como punto de partida, como una alternativa a suponer que el cambio de  $c_1$  a  $c_2$  es un evento determinístico. La especificación antes mencionada sólo es un ejemplo de cómo se puede inferir la probabilidad de cambio de estado, sin embargo, considerando otras estructuras, se puede inferir dicha probabilidad de los estados que se han dado no sólo en el periodo inmediato anterior sino en la historia.

Es necesario establecer la matriz de probabilidades de Markov, la cual puede ser determinada exógenamente, es decir, las probabilidades son constantes en el tiempo, o endógenamente, lo que permite el cambio de las probabilidades en el tiempo. En el presente trabajo se realizará la proyección del precio del gas natural siguiendo ambos métodos, con el fin de estudiar qué especificación proporciona mejores resultados. Para la estimación de la matriz de probabilidades se utilizaron como variables explicativas: el cambio semanal en el número de días que se consideran como "Heating Degree Days", el cambio semanal en "Cooling Degree Days"; el cambio en el déficit o superávit de almacenamiento de gas natural y el precio semanal del petróleo crudo. Una sugerencia para calcular la matriz de probabilidades es el uso del algoritmo de "Maximización de Expectativas", el cual es un método iterativo de optimización que se utiliza para estimar un parámetro desconocido a partir de una variable observada (Dellaert, 2002).

Bessler et al. (2010) hicieron un pronóstico para el precio del gas natural en el mercado de Nueva York basándose en el modelo de Hamilton. En el presente trabajo se utiliza como base el modelo propuesto por los autores, pero integrando nuevas variables al análisis, tal como los anuncios realizados por la Asociación Americana del Gas (AGA, por sus siglas en inglés) y la Administración de Información de la Energía (EIA, por sus siglas en inglés) concernientes al gas natural. El modelo base es el que aparece a continuación:

$$\Delta \ln(p)_t = x_t \beta_{st} + \varepsilon_t$$

donde,

$s_t = \{0,1\}$  dependiendo del estado en el que se encuentre  
 $x_t$  es una matriz de variables explicativas

$$\beta_{st} = \beta_0(1 - s_t) + \beta_1 s_t$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$$

$$\sigma_{st}^2 = \sigma_{s0}^2(1 - s_t) + \sigma_{s1}^2 s_t$$

$$\Pr(s_t = j | s_{t-1} = i, y_t, x_t) = p_{ij} \quad i, j \in \{0,1\}$$

En el modelo se supone que en cada estado está involucrado un proceso GARCH (1,1) definido como:

$$h_{st} = \alpha_{st} + \delta_{1,s} h_{st-1} + \delta_{2,s} \varepsilon_{s,t-1}^2$$

Para analizar una posible estacionalidad, en la estimación del modelo se incluyen variables dicotómicas de los meses del año, esto siguiendo la metodología empleada por Bessler et al. (2009). También se incluyen las variables antes mencionadas para la estimación de la matriz de probabilidades de Markov en diferencias semanales. Finalmente, se utiliza una variable dicotómica que indica si se dio un anuncio de la AGA o la EIA sobre el gas natural en determinada semana. Se optó por utilizar esta variable debido a la dificultad que existe para obtener datos sobre las fechas en las que se dieron anuncios a la alza o a la baja respecto al gas natural.

## DATOS

Con el fin de llevar a cabo la aplicación del modelo descrito, se utilizaron los datos que brinda la EIA. Se obtuvieron los precios Henry Hub spot diarios y futuros a un mes del gas natural, dado que el mercado Henry Hub es el considerado como referente para la determinación de los precios de gas en México. De igual forma, se emplearon los precios diarios del petróleo WTI, pues esta mezcla refleja las características del que es extraído en el occidente de Texas. De la misma institución americana EIA, se obtuvieron los niveles de inventario mensuales existente en el estado de Texas. Así mismo, se identificaron las fechas de publicación de los reportes de la EIA donde se estiman los niveles de consumo y de producción de gas natural en Estados Unidos. Por último, se obtuvieron los *heating degree days* mensuales del estado de Texas, proporcionados por el Centro de Información Climática Nacional del Departamento de Comercio de Estados Unidos. Los *heating degree days* incorporan la cantidad de energía que necesita una localidad para mantener una temperatura de alrededor de los 18°C.

Texas es de suma importancia para el mercado de Henry Hub, ya que es el estado que utiliza el gas natural como principal fuente de energía eléctrica, comparado con el resto de los estados. En el año 2008 una disminución de consumo de gas natural total, en los

meses de agosto a septiembre, fue atribuido a una baja de hasta un tercio en el consumo de Texas (EIA, 2008).

El periodo bajo estudio es de 4 años, iniciando en febrero de 2006. Se seleccionó esta muestra con el objetivo de disminuir el sesgo en los resultados, relacionado con la mayor volatilidad que presentó el precio spot del gas natural desde principios del año 2008. Debido a que se usaron diferenciales semanales del precio del gas natural, se utilizaron 208 observaciones para cada una de las variables.

Una de las principales limitaciones fue la existencia de fechas para las cuales no existían registros de los precios diarios, ya sea del gas natural o del petróleo. Por lo anterior, se decidió excluir las fechas en que no existían las publicaciones de los precios antes mencionados. Una segunda limitación se debe a que no se encontraron datos de nivel de inventario y de *heating degree days* a escala semanal, por lo que se optó por mantenerlos constantes en los días de publicación de precios de cada semana.

## RESULTADOS

Con el objetivo de tener una primera aproximación de los efectos explicativos de los fundamentales en las variaciones del precio del gas natural, se estimó un modelo GARCH(1,1). Posteriormente se hizo lo propio con el modelo de Hamilton para el caso de los precios del gas natural. Esta estimación se realizó a través de un paquete estadístico para Matlab, creado por Marcelo Perlin, que permite la estimación de modelos de cambio de régimen de Markov. Dicho paquete tiene dos limitantes considerables: en primer lugar no permite el uso del algoritmo EM, el cual es empleado para estimar valores de variables no observadas, en este caso las probabilidades de cambio de régimen; en segundo lugar, no permite la introducción de un modelo GARCH (1,1) para describir la varianza del precio del gas natural. Por lo anterior, se decidió utilizar un modelo de régimen de Markov AR(1) y no el de Markov GARCH (1,1), usado por Bessler et al. (2010).

Las primeras aproximaciones de las estimaciones muestran que los cambios en los fundamentales presentan valores significativos y con los signos que la teoría establece. En la tabla 1.1 se observan los resultados para la estimación del GARCH (1,1), considerando todas las variables. Las variables dicotómicas (D) de estacionalidad (meses de D. Febrero, D. Abril y D. Octubre) resultan significativas y con signos positivos, mostrando el efecto positivo de los meses de frío, en específico febrero y octubre, en los cambios en el precio del gas. De igual forma, las variables de cambios en el spread del precio gas natural, así como los cambios en el precio del petróleo crudo, resultan altamente significativas y con valores positivos. El signo positivo del spread indica el efecto de una posible especulación por parte de los agentes económicos respecto al precio futuro a un mes del gas natural.

**Tabla 1.1: Estimación del Modelo de demanda inversa del Gas por método GARCH**

Variable dependiente: Precio Spot del gas natural Henry Hub (HH)

Variable	Coeficiente	Desviación	
		Estándar	Valor P
Constante	-0.0072	0.0159	0.65
$\Delta \text{ Log (GN)}_{t-1}$	-0.0014	0.0718	0.98
$\Delta \text{ Log (Spread)}_{t-1}$	0.5926	0.0972	0.00*
$\Delta \text{ Log (Crudo)}_t$	0.4731	0.0956	0.00*
$\Delta \text{ Inventario}_t$	-0.0001	0.0001	0.62
Anuncio <sub>t</sub>	-0.0126	0.0117	0.28
Anuncio <sub>2t</sub>	0.0007	0.0154	0.96
HDD	0.0049	0.0167	0.77
D. Enero	0.0182	0.0121	0.13
D. Febrero	0.0255	0.0104	0.01*
D. Marzo	0.0120	0.0099	0.22
D. Abril	0.0191	0.0116	0.10***
D. Mayo	0.0118	0.0130	0.36
D. Junio	0.0108	0.0129	0.40
D. Julio	-0.0050	0.0133	0.71
D. Agosto	0.0088	0.0128	0.49
D. Septiembre	-0.0082	0.0155	0.60
D. Octubre	0.0327	0.0134	0.01*
D. Noviembre	0.0046	0.0125	0.71
RESID(-1) <sup>2</sup>	0.4604	0.1492	0.00*
GARCH(-1)	0.5578	0.1007	0.00*
R-cuadrada	0.2265		

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

En la tabla 1.2 se muestran los resultados de la estimación del modelo por regímenes cambiantes de Markov AR(1), que en comparación del modelo anterior, presenta un mayor número de variables fundamentales con significancia estadística. Las variables de estacionalidad (D. Enero, D. Marzo y D. Octubre) resultaron altamente significativas y con signos positivos, mostrando el efecto de los meses de frío en el precio spot del gas natural. En el régimen uno, con menor volatilidad en los cambios en el precio del gas natural, a diferencia de las estimaciones del modelo anterior, resultó altamente significativa la variable de cambios en el inventario. De igual forma, en el régimen dos, con alta volatilidad en los cambios en el precio del gas natural, también resultó significativa la variable de cambios en el inventario, con un nivel de significancia de 0.06. Sin embargo, en los dos estados, la estimación del parámetro de dicha variable fue muy cercana a 0, con desviaciones estándar igualmente cercanas a 0. Es decir, el efecto del cambio en inventarios sobre cambios en el precio del gas natural es casi nulo.

En la misma tabla 1.2 se puede observar que la constante del régimen uno es negativa y significativa. Lo anterior indica que en ese estado el mercado está experimentando una tendencia a la baja; por el contrario, en el régimen 2 el coeficiente es positivo y aunque

no es significativo, sugiere que dicho régimen ocurre cuando el mercado se encuentra a la alza. Por otra parte, observando la estimación del resto de los parámetros que se encuentran influenciados por la probabilidad de cambio de régimen, se puede inferir que en el caso del precio del petróleo crudo, aunque es significativo en ambos regímenes, tiene una mayor influencia en el precio del gas natural cuando el mercado se encuentra a la baja. Asimismo, el impacto del spread del precio del gas natural tiene un mayor impacto cuando el mercado se encuentra a la baja.

**Tabla 1.2 Estimación del Modelo de Regímenes Cambiantes de Markov**

Parámetros independientes del régimen	Desviación						
	Coefficiente	Estándar	Valor P				
HDD	0.0046	0.0063	0.47				
D. Enero	0.0206	0.0059	0.00*				
D. Febrero	0.0201	0.0052	0.00*				
D. Marzo	0.0138	0.0051	0.01*				
D. Abril	0.0101	0.0067	0.13				
D. Mayo	0.0106	0.0065	0.10***				
D. Junio	0.0037	0.0105	0.73				
D. Julio	-0.0048	0.0064	0.45				
D. Agosto	0.0051	0.0126	0.69				
D. Septiembre	0.018	0.0179	0.32				
D. Octubre	0.0211	0.0095	0.03**				
D. Noviembre	0.0032	0.0128	0.8				
Parámetros dependientes del régimen	Régimen 1			Régimen 2			
	Desviación						
	Coefficiente	Estándar	Valor P	Coefficiente	Estándar	Valor P	
Constante	-0.0122	0.0053	0.02**	0.0219	0.0254	0.39	
$\Delta \text{Log (GN)}_{t-1}$	-0.0911	0.0773	0.24	0.0506	0.0918	0.58	
$\Delta \text{Log (Spread)}_t$	0.8319	0.0855	0.00*	0.3993	0.1185	0.00*	
$\Delta \text{Log (Crudo)}_t$	1.0928	0.164	0.00*	0.4083	0.1434	0.00*	
$\Delta \text{Inventario}_t$	0.0000	0.0000	0.00*	-0.0006	0.0003	0.06***	
Anuncio <sub>1t</sub>	-0.0055	0.0052	0.29	-0.039	0.0257	0.13	
Anuncio <sub>2t</sub>	0.0051	0.0077	0.51	-0.0425	0.0298	0.16	
Varianza del Modelo				0.0001			0.0013
Tiempo Estimado de Duración				6.72			13.06
Log Likelihood	443.9828						

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

La tabla 1.3 presenta la matriz de probabilidades de transición entre los regímenes. La suma de cada una de las columnas es igual a uno, ya que representan los dos posibles sucesos: permanencia en el mismo estado o cambio de un estado a otro. El coeficiente ubicado en el primer renglón y la primera columna representa la probabilidad de permanecer en el estado 1, es decir, que el mercado siga a la baja; el coeficiente ubicado en el segundo renglón y segunda columna, indica la probabilidad de permanecer en un mercado a la alza. Como se puede observar, la probabilidad de que una vez ubicado en el mercado a la alza se permanezca en el mismo es mayor a que esto ocurra en un mercado a la baja. Asimismo, la probabilidad de cambiar de un mercado a la baja a un mercado a la alza es mayor que la probabilidad de que suceda lo contrario. A partir de estas

probabilidades se estima el tiempo de duración de cada período (Tabla 1.2). Se puede observar que el régimen 1 tiene una menor duración esperada que el régimen dos, lo cual es consistente con lo mencionado anteriormente.

**Tabla 1.3 Matriz de Probabilidades de Transición**

0.85	0.08
(0.00)*	(0.06)***
0.15	0.92
(0.09)***	(0.00)*

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

Los anuncios de la EIA, que fueron incluidos en las primeras estimaciones, no resultan significativos en ninguno de los casos. De acuerdo a investigaciones anteriores, se encontró que los anuncios tienen un efecto sólo al día siguiente de su publicación (Linn y Zhu, 2004). Dado que el modelo fue estimado tomando diferencias semanales se puede considerar que la variable de anuncios de la EIA no tiene un impacto en la estimación del precio de gas natural del presente trabajo, es por esto que se decidió eliminar a las variables del análisis.

Las nuevas estimaciones se muestran en las tablas 2.1 y 2.2., con el modelo GARCH (1,1) y Markov AR(1), respectivamente. Al eliminar las variables de anuncios, los resultados de las estimaciones del primer modelo fueron muy similares a las primeras estimaciones. Es decir, resultaron significativas las variables: D. febrero, el cambio en el precio del crudo y en el spread. Todas con los valores esperados, según la teoría. Por otra parte, con el modelo de Markov AR(1), resultaron significativas las variables estacionarias de los meses de enero, febrero, marzo y octubre, una más que en las primeras estimaciones. De igual forma, las variables en ambos regímenes que resultaron significativas en la primera estimación, siguieron apareciendo en la segunda. Asimismo, tanto los valores de las estimaciones de dichas variables, así como las desviaciones estándar, no se alejan significativamente de los valores obtenidos en las primeras estimaciones.

**Tabla 2.1: Estimación del Modelo de demanda inversa del Gas por método GARCH**

Variable	Coeficiente	Desviación	
		Estándar	Valor P
Variable dependiente: Precio Spot del gas natural Henry Hub (HH)			
Constante	-0.0173	0.0126	0.17
$\Delta \text{Log}(\text{GN})_{t-1}$	-0.0042	0.0740	0.95
$\Delta \text{Log}(\text{Spread})_{t-1}$	0.5684	0.0945	0.00*
$\Delta \text{Log}(\text{Crudo})_t$	0.4636	0.0987	0.00*
$\Delta \text{Inventario}_t$	-0.0001	0.0001	0.47
HDD	0.0034	0.0172	0.84
D. Enero	0.0192	0.0119	0.11
D. Febrero	0.0231	0.0114	0.04**
D. Marzo	0.0114	0.0105	0.28
D. Abril	0.0190	0.0120	0.11
D. Mayo	0.0101	0.0138	0.47
D. Junio	0.0096	0.0135	0.48
D. Julio	-0.0053	0.0140	0.70
D. Agosto	0.0075	0.0133	0.57
D. Septiembre	0.0010	0.0149	0.95
D. Octubre	0.0205	0.0141	0.15
D. Noviembre	0.0025	0.0136	0.86
RESID(-1)^2	0.3728	0.1324	0.00*
GARCH(-1)	0.6113	0.1087	0.00*
R.cuadrada	0.2582		

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

Tabla 2.2 Estimación del Modelo de Regímenes Cambiantes de Markov

Parámetros independientes del régimen	Desviación					
	Coefficiente	Estándar	Valor P			
HDD	0.0055	0.0081	0.50			
D. Enero	0.1910	0.0063	0.00*			
D. Febrero	0.0171	0.0055	0.00*			
D. Marzo	0.0113	0.0056	0.05**			
D. Abril	0.0088	0.0087	0.31			
D. Mayo	0.0079	0.0091	0.39			
D. Junio	0.0011	0.0122	0.93			
D. Julio	-0.0065	0.0086	0.45			
D. Agosto	0.0032	0.0137	0.81			
D. Septiembre	0.0146	0.0218	0.50			
D. Octubre	0.0190	0.0109	0.08***			
D. Noviembre	-0.0001	0.0209	1.00			
Parámetros dependientes del régimen	Régimen 1			Régimen 2		
	Desviación			Desviación		
	Coefficiente	Estándar	Valor P	Coefficiente	Estándar	Valor P
Constante	-0.015	0.0071	0.04**	-0.0148	0.0104	0.16
D Log (GN) <sub>t-1</sub>	-0.0869	0.0923	0.35	0.0467	0.0901	0.60
D Log (Spread) <sub>t-1</sub>	0.8316	0.0957	0.00*	0.4014	0.1185	0.00*
D Log (Crudo) <sub>t</sub>	1.0540	0.1859	0.00*	0.4326	0.1416	0.00*
D Inventario <sub>t</sub>	0.0000	0.0000	0.00*	-0.0005	0.0003	0.07***
Varianza del Modelo				0.0001 0.0014		
Tiempo Estimado de Duración				7.08 13.98		
Log Likelihood	441.7305					

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

Por otro lado, los resultados de la matriz de probabilidades de transición también son similares a los encontrados en la tabla 1.3; se tiene que la probabilidad de permanencia en un mercado a la baja es menor a la probabilidad de permanencia en el mercado a la alza, asimismo la probabilidad de cambiar de un mercado a la baja a uno a la alza es mayor que la probabilidad de que suceda lo contrario. Cabe mencionar que todas las probabilidades resultan significativas, lo que sugiere la existencia de regímenes diferentes.

Tabla 2.3 Matriz de Probabilidades de Transición

0.86	0.07
(0.00)*	(0.05)**
0.14	0.93
(0.08)***	(0.00)*

\*Significativa al 1%; \*\*Significativa al 5%; \*\*\*Significativa al 10%

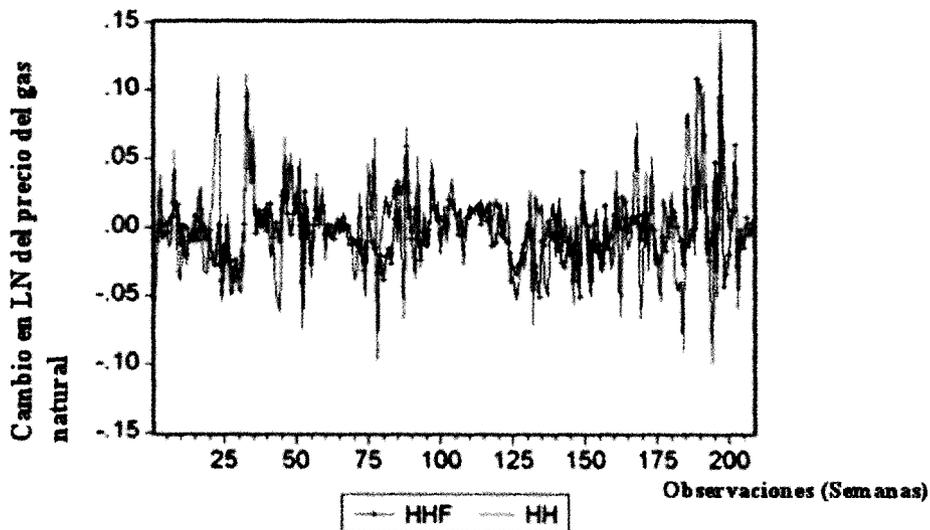
Los resultados obtenidos concuerdan con lo propuesto por la teoría. De igual forma, concuerdan con los resultados obtenidos por otras investigaciones. Bessler et al. (2010), quienes encontraron que los fundamentales del mercado en general del gas natural en

Estados Unidos, tienen mayor impacto en un mercado con precios de tendencia alcista. Asimismo, ellos resaltan que la estimación por cambios de régimen genera mejores resultados que el modelo con fundamentales sin cambio de régimen. Villar y Joutz (2006) también encontraron que un aumento en el precio del petróleo tiene una relación positiva de causalidad en el precio del gas natural. Por otra parte, Chang, Wang y Yang (2009) encontraron que en los meses de inviernos se da un salto en el precio de mayor tamaño que en los meses de verano.

Una de las implicaciones prácticas de los hallazgos presentados, es utilizar estos para la realización de pronósticos del precio del gas natural en México. Resulta importante analizar el ajuste del pronóstico a los valores observados de la variable bajo estudio. Con la finalidad de comparar dicho ajuste, se procedió a realizar los pronósticos bajo el modelo de Markov AR(1) y el modelo de GARCH (1,1).

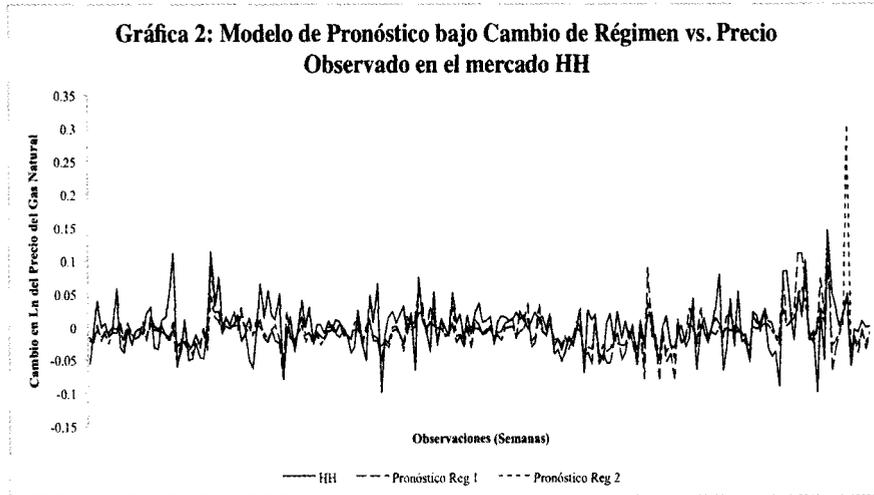
Para comprobar la veracidad del modelo de pronóstico del precio de gas natural usando el método GARCH (1,1), se comparó el desempeño predictivo de dicho modelo en el período comprendido por los datos reales del precio del gas. Como se aprecia en la grafica 1, existe una relación positiva entre los resultados del modelo de pronóstico GARCH (1,1) y las fluctuaciones reales en el precio del gas, por lo que se esperaría que el poder predictivo de dicho modelo sea aceptable en el corto plazo. Sin embargo, debido a la naturaleza del modelo, el precio pronosticado por éste no refleja la posible existencia de shocks que afecten el comportamiento del precio del gas natural, por lo que en presencia de dichos fenómenos, el poder predictivo del modelo sería limitado.

**Grafica 1: Modelo de pronóstico ajustado vs Precios observados del gas natural en el mercado HH**



HHF. Pronóstico Precio Spot Gas Natural  
HH Precio Spot Observado del Gas Natural

A continuación se presentan los pronósticos obtenidos bajo el modelo de Markov AR (1). En la gráfica 2 se pueden observar dos pronósticos, el primero bajo el régimen en el cual el mercado del gas va a la baja, mientras que el segundo corresponde a un mercado que se encuentra a la alza.



En la gráfica anterior se puede observar que los pronósticos bajo los diferentes regímenes difieren entre sí. En general, uno de los dos pronósticos se acerca al valor observado del cambio en el logaritmo natural del precio del gas natural. Este resultado implica que es necesario un conocimiento profundo del mercado del gas natural, de tal forma que sea posible distinguir cuando el mercado se encuentra a la alza o a la baja. Dicho conocimiento es útil para discernir entre los pronósticos presentados anteriormente, de tal forma que se elija el pronóstico correcto de acuerdo a las condiciones prevalecientes en el mercado de gas natural.

Los pronósticos de los cambios del logaritmo natural del precio del gas natural obtenidos en base al modelo de Markov AR(1) presentan magnitudes inferiores a los valores observados de dicha variable en la mayoría de los casos. Esto implica que existen cambios que no son capturados por el modelo de dos regímenes. Este hallazgo es reportado también por Bessler et al. (2010). Por otra parte, los pronósticos obtenidos a partir del modelo GARCH (1,1) presentan magnitudes inferiores tanto a los datos observados como a los pronósticos obtenidos por medio del modelo de Markov AR(1), lo cual implica que existe información que no es capturada por dicho modelo que si es aprovechada en el de cambio de regímenes.

Dado que en México, el precio del gas natural está en función del precio establecido en el mercado de Texas, EE.UU.; así como de los costos de transporte, servicio y distribución hacia el interior del país; al precio pronosticado se le debe agregar los costos ya mencionados. La tarifa de transporte aplicada en México, considera el costo de

transportación del gas desde el sur de Texas a Reynosa. Dicha tarifa, varía entre las cinco zonas en las que está dividido el mercado mexicano de gas; estas son: Norte, Golfo, Centro, Occidente y Sur. Adicionalmente, se consideran las tasas diferenciadas del IVA por zonas, del cual se aplica 10% en las zonas fronterizas y 15% en el resto del país. Finalmente, el costo del servicio por traslado del gas natural, es calculado con base a las tarifas de transporte del servicio volumétrico del Sistema Nacional de Gasoducto de PEMEX que se componen por un cargo de capacidad y otro por uso de gas natural. Todas las tarifas representan costos adicionales que deben de ser considerados con el objetivo de pronosticar el precio de gas natural de acuerdo a la región de México en la que se distribuya el bien.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la estimación a través de modelo Markov AR(1) resulta más consistente que la realizada a través de un GARCH(1,1), en lo que respecta a los efectos de los fundamentales en la dinámica de precios de gas natural. Entre las principales limitaciones de esta investigación resalta la falta de un software estadístico que permita la aplicación de un algoritmo EM. Asimismo, se tiene como limitante la falta de datos disponibles para todas las fechas y variables consideradas en la muestra.

La principal aportación al estudio del pronóstico de precios radica en la evaluación de los efectos de las fundamentales y un modelo que permite el cambio de regímenes, con base a la volatilidad de los cambios en el precio de gas natural, y no respecto a la tendencia subyacente en la dinámica del precio.

Los principales resultados del análisis de las fundamentales señalan a la cantidad semanal de anuncios por parte de agencias especializadas como no relevantes sobre la dinámica del precio de gas natural, una de las principales limitantes a este análisis radicó en el impedimento de contar con información acerca de la dirección de los anuncios de la EIA y por lo tanto haciendo imposible su evaluación. Para las variables de estacionalidad, los resultados muestran la existencia de significancia para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Octubre, sugiriendo que tienen efectos positivos sobre los cambios en el precio. A su vez, los cambios rezagados en el Spread con respecto al mercado de futuros del gas natural y los cambios rezagados en el precio del petróleo crudo, resultaron significativos y con efectos positivos sobre los cambios en el precio del gas natural. Finalmente, las variables de inventario y cambio rezagado en el precio de gas natural resultaron no relevantes, siendo este último contrario a lo esperado.

Es relevante conocer las principales determinantes de la dinámica de los precios de gas natural, dado que permite a los sectores demandantes de este insumo, en particular el sector industrial y aquellos que ofrecen opciones generadoras de energía, el monitoreo más preciso de ciertas fuentes de información, mediante las cuales sea posible establecer planes de producción a través de un mejor conocimiento de los costos de su principal insumo, el gas natural. También permitiría un desempeño más eficiente a entidades

regulatorias, encargadas de establecer los precios para el mercado mexicano y lograr disminuir la vulnerabilidad de este mercado ante variaciones en los precios de referencia.

Queda abierto a investigaciones futuras el análisis de los efectos que tienen los costos de transportación, distribución y las tasas diferenciadas del IVA, sobre la dinámica de precios del gas en el país.

**REFERENCIAS**

- Andersen, L. (2008). Markov Models for Commodity Futures: Theory and Practice. *Bank of America Securities*. Working Paper Series.
- Bessler, D., Gan, W., Leathan, D., Qin, X. & Wu, X. (2010). Fundamentals and US Natural Gas Price Dynamics. *Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*.
- Bodie, Z. Kane, A. & Marcus, A. (2008). Investments. McGraw Hill (Ed.), *Future Markets*, 783-804. New York.
- Brunner, A. (1991). Testing for Structural Breaks in U.S. Post-War Inflation Data. *Board of Governors of the Federal Reserve System, Washington D.C.*
- Cai, J. (1994). A Markov Model of Switching-Regime ARCH. *Journal of Business & Economic Statistics*, 12 (3), 309-316.
- Chang, W., Wang, G. & Yang, L. (2009). Weather, Inventory and Common Jump Dynamics in Natural Gas Futures and Spot Markets. *The Second Draft*.
- Chiou-Wei, S.Z., Linn S.C., & Zhu, Z. (2007). Fundamental news and the behavior of the commodity prices: Price discovery and jumps in US natural gas futures and spot prices. Financial Management Association International (FMA).
- Chulia, H. & Furió, D. (2009). Price and volatility dynamics between natural gas and electricity markets: some evidence for Spain. Social Science research Network.
- Dellaert, F. (2002). The expectation maximization algorithm. College of Computing, Georgia Institute of Technology.
- Diebold, F. & Rudebusch, G. (1990). A Nonparametric Investigation of Duration Dependence in the American Business Cycle. *Journal of Political Economy*, 98 (3), 596-616.

- Dincerler, C., Khokher, Z., & Simin, T. (Junio 2005). An Empirical Analysis of Commodity Convenience Yields. *Working Paper*. Social Science Research Network.
- Dueker, M. J. (1997). Markov Switching in GARCH Processes and Mean Reverting Stock Market Volatility. *Journal of Business & Economic Statistics*, 15 (1), 26-34.
- Engel, C. (1994). Can the Markov Switching Model Forecast Exchange Rates? *Journal of International Economics*, 36 (1-2), 151-165.
- Engle, C. & Hamilton, J. D. (1990). Long Swings in the Dollar: Are They in the Data and Do Markets Know it? *American Economic Review*, 80 (4), 689-713.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *The Econometric Society. Econometrica*, 50 (4), 987-1007.
- Gay, G., Simkins, B., & Turac, Marian. (2007). Analyst Forecasts and Price Discovery in future markets: The case of Natural Gas Storage. *Journal of Futures Markets*, 29 (5), 451-477.
- Goodwin, T. (1993). Business-Cycle Analysis with a Markov-Switching Model. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11 (3), 331-339.
- Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle. *Econometrica*, 57 (2), 357-384.
- Hamilton, J. D. & Susmel, R. (1994). Autoregressive conditional heteroskedasticity and changes in regime. *Journal of Econometrics*, 64 (1-2), 307-333.
- Hamilton, J. (2005). Regime-Switching Models. Working Paper: University of California, San Diego. Recuperado el 10 de marzo de 2010 de:  
[http://people.brandeis.edu/~pavel/Econometrics/Regime%20Switching\\_Hamilton.pdf](http://people.brandeis.edu/~pavel/Econometrics/Regime%20Switching_Hamilton.pdf)
- Huppman, D. Egging, R. Holz, F. Ruester, S. Hirschhausen, C. & Gabriel, S. (2009). The World Gas Market in 2030: Development scenarios using the world gas model. *German Institute for Economic Research*.

- Kim, C. J. (1993). Unobserved-Component Time Series Models with Markov-Switching Heteroscedasticity: Changes in Regime and the Link between Inflation Rates and Inflation. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11 (3), 341-349.
- Kim, C.-J & Nelson, C. (1999). Has the U.S. Economy Become More Stable? A Bayesian Approach Based on a Markov-Switching Model of Business Cycle. *The Review of Economics and Statistics*, 81 (4), 608-616.
- Levich, R. M. (2001). *International Financial Markets: Prices and Policies*. New York: Irwin/McGraw-Hill, second edition.
- Linn, S. & Zhu, Z., (2004). Natural gas prices and the gas storage report: Public news and volatility in energy futures markets. *Journal of Futures Markets*, 24 (3), 283-313.
- U.S. Energy Information Administration (EIA). Natural Gas Year-In-Review 2008. Publicado en Abril 2009.  
[http://www.eia.doe.gov/pub/oil\\_gas/natural\\_gas/feature\\_articles/2009/ngyir2008/ngyir2008.html](http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/natural_gas/feature_articles/2009/ngyir2008/ngyir2008.html), recuperado el día 16 de abril del 2010.
- Neftci, S. (1984). Are Economic Time Series Asymmetric Over the Business Cycle? *Journal of Political Economy*, 92 (2), 307-328.
- Neumann, A. & Zachmann, G. (2009). Expected vs. Observed Natural Gas Storage Usage: Limits to Intertemporal Arbitrage. *Annual Congress of the Verein für Socialpolitik*.
- Perlin, M. (2009). 'MS\_Regress - A Package for Markov Regime Switching Models in Matlab' MATLAB Central: file exchange. Mathlab Central. Recuperado en: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/authors/21596>, buscado el día 10 de marzo del 2010.
- Ross, S. Westerfield, R. y Jaffe, J. (2009). *Finanzas corporativas*. D.F., México: Mc Graw Hill.
- Schwartz ,E. & Smith, J. E. (2000). Short-Term Variations and Long-Term Dynamics in Commodity Prices. *Management Science*, 46 (7), 893-911.

- Serletis, A. & Shahmoradi, A. (2006). Futures Trading and the Storage of North American Natural Gas. *OPEC Review*, 30(1), 19-26.
- Sichel, D. (1993). Business Cycle Asymmetry: A Deeper Look. *Economic Inquiry*, 31 (2), 224-236.
- Stock, James H. (1987). Measuring business cycle time. *Journal of Political Economy*, 95 (6), 1240-1261.
- Villar, J. & Jouts, F. 2006. The relationships between crude oil and natural gas prices. Report of the Energy Information Administration, Office of Oil and Gas.
- Working, H. (1949). The Theory of Price of Storage. *The American Economic Review*, 39 (6), 1254-1262.