

Análisis del efecto apalancamiento en los rendimientos del IPC mediante una Cadena de Markov Monte Carlo antes, durante y después de la crisis subprime

Analysis of the leverage effect on the IPC returns by means of a Markov Chain Monte Carlo before, during and after the subprime crisis

Ignacio Francisco Hernández Ángeles*

Francisco López-Herrera**

Luis Fernando Hoyos Reyes***

Fecha de recepción: 8 de diciembre de 2014

Fecha de aceptación: 29 de enero de 2015

-
- * Universidad Nacional Autónoma de México,
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración
- ** Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco,
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
francisco_lopez_herrera@yahoo.com.mx
- *** Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco,
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
hrhf@correo.azc.uam.mx

RESUMEN

Este artículo se ocupa del estudio de los efectos asimétricos de la volatilidad de los rendimientos del Índice de Precios y Cotizaciones del mercado accionario mexicano para verificar si existe evidencia del *efecto leverage* (apalancamiento), una de las razones teóricas por las cuales puede observarse asimetría en la volatilidad de los rendimientos accionarios. Mediante simulación de Cadenas de Markov de Monte Carlo (MCMC) se estima un modelo de volatilidad estocástica asimétrica para tres periodos que caracterizan, respectivamente el prelude de la crisis subprime, la crisis misma y las secuelas posteriores. Se encuentra que los niveles de la persistencia de la volatilidad así como la volatilidad de la volatilidad son prácticamente los mismos en cualquiera de los periodos; no obstante sólo se detecta presencia del *efecto leverage* en el último periodo, el posterior a la crisis financiera *subprime*.

JClasificación JEL: G01, G10, G17

Palabras clave: Cadenas de Markov de Monte Carlo, volatilidad estocástica asimétrica, efecto apalancamiento

ABSTRACT

This paper deals with the study of the volatility's asymmetric effects of the returns of the Índice de Precios y Cotizaciones of the Mexican Stock Exchange in order to assess if there is evidence of the leverage effect, one of the theoretical premises by which asymmetry is observed in the volatility of the equities' returns. By means of Markov Chain Monte Carlo (MCMC) simulation, an asymmetric stochastic volatility model is estimated for three periods characterizing, respectively, the prelude of the subprime crisis, the crisis itself and its aftermath. We find that the levels of the persistence of the volatility, and the volatility of the volatility are, for practical purposes, the same in any period; nevertheless, the presence of the leverage effect is only detected in the last period, after the subprime financial crisis.

JEL Classification: G01, G10, G17

Keyword: *Markov Chain Monte Carlo, asymmetric stochastic volatility, leverage effect*

Introducción

En la volatilidad de índices de diversas bolsas de valores del mundo se ha documentado la presencia de asimetrías, a las cuales se les ha denominado como *efecto apalancamiento (leverage)* o *efecto feedback*, según sea la explicación que se ha tratado de dar a la presencia de tales asimetrías.

En este trabajo de investigación se analiza la volatilidad asimétrica en el mercado accionario mexicano mediante un modelo de volatilidad estocástica asimétrica. Considerando que actualmente existe un debate sobre cuál es la principal explicación para los fenómenos asimétricos reportados en la varianza de los rendimientos accionarios de las principales bolsas de valores del mundo y para la misma Bolsa Mexicana de Valores, es necesario retomar el estudio para tratar de profundizar en el análisis de la volatilidad. Por ello parece oportuno profundizar en el análisis de la volatilidad asimétrica mediante los métodos de la econometría bayesiana para la estimación de los parámetros relevantes de una especificación de volatilidad estocástica que permite la presencia de efectos asimétricos. Dicha estimación se lleva a cabo por medios de Cadenas de Markov de Monte Carlo (*Markov Chain Monte Carlo*), denominado comúnmente en forma simple como MCMC. Debido a que nos interesa también entender si los efectos asimétricos en la Bolsa Mexicana de Valores se comportaron de igual forma durante el periodo de la crisis financiera mundial de fines de la década pasada que antes y después de dicho periodo, el análisis que se presenta páginas más adelante estudia las características de la volatilidad de los rendimientos bursátiles mexicanos en los tres periodos.

Además de que este análisis de la volatilidad asimétrica es importante para entender mejor el funcionamiento del mercado accionario mexicano, también es relevante para los administradores de portafolios de inversión respecto al riesgo que deben asumir y para las diversas entidades financieras que cotizan en las bolsas de valores; desde la perspectiva del inversionista (tenedor de la acción) el análisis permite cuantificar el riesgo, tomar posiciones en el mercado y formar expectativas sobre los rendimientos futuros ante efectos asimétricos en la volatilidad. Desde el punto de vista de

la empresa, el análisis de volatilidad asimétrica permite generar (bajo cierto grado de ocurrencia) expectativas de financiamiento ante noticias negativas y positivas que se generen en un periodo determinado. Así, el riesgo y el costo del capital pueden incrementarse más ante choques negativos (caídas inesperadas en los precios) que ante choques positivos (incrementos inesperados) de igual magnitud, Bekaert y Wu (2000).

El trabajo se estructura de la forma que se enuncia a continuación. En la sección siguiente se presenta una breve revisión de literatura relevante. Después se dedica otra sección a los aspectos metodológicos en que se sustenta el análisis de la volatilidad de los rendimientos accionarios mexicanos. Posteriormente se presentan los resultados del análisis empírico. Finalmente se presentan nuestras conclusiones.

1. Revisión de literatura

Así como se ha encontrado que la volatilidad en acciones no es constante en el transcurso del tiempo, se ha documentado evidencia estadística de asimetría en la volatilidad futura ante efectos negativos y positivos de igual magnitud. Por ejemplo, Black (1976), Christie (1982), Schwert (1989), Bessembinder y Seguin (1993), Bekaert y Wu (2000), Fernández y Aragón, (2002), Johnson y Soriano (2004) y Yu (2005), por mencionar algunos, han documentado que la volatilidad en acciones cambia en el transcurso del tiempo, coexistiendo en forma simultánea con fenómenos asimétricos.

Estos fenómenos de volatilidad dinámica tienen diversas vertientes para su explicación, por ejemplo la Hipótesis de los Mercados Eficientes sugiere que la excesiva volatilidad podría ser indicativa de irracionalidad e ineficiencia del mercado. Bajo este criterio, la volatilidad es considerada como una reacción ante la incertidumbre generada por la insuficiencia de información, es decir, los temores excesivos por lo que la concentración de la información pública y privada son factores que pueden producir fluctuaciones en los precios de las acciones.

Una explicación macroeconómica de la varianza variante sostiene que la interacción entre los mercados financieros internacionales pueden ser motivos suficientes para cambios inesperados en la volatilidad. La transmisión de la información, el proceso de creciente liberalización financiera ha originado un incremento en los contagios de los movimientos de los mercados desarrollados hacia el resto del mundo. En este sentido, la existencia de factores en la valoración de los activos entre varios mercados, la asimetría y

la aparición de la información en oleadas son algunos factores que motivan la transmisión y la persistencia de la volatilidad en los mercados bursátiles. De acuerdo con Fernández y Aragón (2002), existe una relación positiva entre el grado de liberalización de la economía y la transmisión de la volatilidad originada por el proceso generador de la información. De esta manera, la volatilidad de un mercado bursátil puede ser explicada por la volatilidad retardada (volatilidad pasada) de otro mercado. Adicionalmente existe un efecto asimétrico en la volatilidad en el que las innovaciones negativas aumentan la volatilidad en mayor proporción que las innovaciones positivas de igual magnitud. Por su parte, Lanteri (2004) explica que la firma con tecnología que le permite generar rendimientos que en promedio son mayores que lo normal será susceptible a ser más riesgosa. De esta forma, las elecciones tecnológicas, al considerar un menú más amplio de posibilidades, haría que las tasas promedio de rendimientos y sus tasas promedios de las volatilidades estarían positivamente correlacionadas.

Por otro lado, Schwert (1989) argumenta que algunas de las principales explicaciones para la volatilidad inestable en acciones pueden ser los cambios en los rendimientos esperados, tasas de interés, dividendos, tasas de descuento, flujos de dinero, inflación, circulación del dinero, producción industrial, entre otras variables de la actividad económica. Si la varianza condicional de la acción depende de las expectativas futuras del flujo de dinero y de la tasa de descuento, la varianza condicional de los precios es proporcional a la varianza condicional de los flujos futuros esperados. Es decir, si el valor de la acción corporativa en nivel agregado depende de la riqueza de la economía, la volatilidad puede ser afectada por la incertidumbre macroeconómica. Así, los cambios en el nivel de incertidumbre sobre las condiciones macroeconómicas futuras podrían causar cambios proporcionales en la volatilidad de los rendimientos. Por ejemplo, si el banco central modifica la posición de las curvas de portafolios al realizar subastas de los “activos libres de riesgo”, podría generar nuevas expectativas sobre los precios de todos los activos. Luego entonces el inversionista debería analizar las curvas de portafolios eficientes en el corto plazo, y de acuerdo con su conveniencia de inversión, tomar una posición estratégica en el mercado.

Otros estudios han relacionado los cambios en la volatilidad de los precios accionarios con el volumen operado. Bessembinder y Seguin (1993) encuentran que la volatilidad de algunos activos del mercado de futuros es asimétrica. Estos autores consideran que los *shocks* positivos en el volumen del mercado repercuten más del doble en los precios que los *shocks* negati-

vos de igual magnitud. Johnson y Soriano (2004) consideran que es posible establecer una correlación negativa entre los requerimientos de márgenes de utilidad y la volatilidad del precio de las acciones. Bajo este argumento, los márgenes de utilidad son determinantes en la reducción de la volatilidad, ya que son mecanismos para disminuir la especulación y el riesgo que toman los operadores de mesas de dinero.

Una explicación de la volatilidad de carácter microeconómico introducida por Black Fischer en 1976, sostiene que los cambios en la varianza futura de las acciones son explicadas o gran parte explicada por el efecto del apalancamiento (*leverage*) financiero. De acuerdo con esta hipótesis, cuando el precio de la acción cae (malas noticias), el riesgo del patrimonio de la firma emisora debería incrementarse debido a la pérdida de valor del capital accionario en relación con el valor de la deuda y, por lo tanto, también es de esperar que se observe un incremento en la volatilidad futura de esa acción. De esta forma se produce un efecto asimétrico en la volatilidad, es decir, una caída en el precio de la acción repercute en mayor proporción en la volatilidad futura en comparación a un incremento en el precio de igual magnitud, lo cual se manifiesta como una correlación negativa entre los rendimientos accionarios y su varianza futura.

Otra explicación microeconómica para la asimetría de la volatilidad es conocida como la hipótesis de la variación en el tiempo de la prima del riesgo o *volatility feedback effect*, la cual sostiene que los incrementos anticipados en la volatilidad futura, *ceteris paribus*, inducen cambios en los rendimientos requeridos (tasa de descuento) sobre la acción. Permaneciendo constantes los dividendos, el incremento de los rendimientos requeridos conduce inmediatamente a un declive del precio de la acción (volatilidad persistente). Esto se refiere a que las noticias, positivas o negativas, incrementan la volatilidad presente y futura.

Christie (1982) encuentra una relación positiva entre la varianza y el nivel de apalancamiento financiero y sostiene que la política de dividendos de la empresa también puede afectar su nivel de apalancamiento financiero. Suponiendo que el valor de la empresa y la tasa de descuento son constantes, y no tiene esta última relación con la volatilidad futura anticipada, cualquier decremento no anticipado en los flujos futuros de dinero causará una disminución del precio de la acción.¹ También argumenta que los cambios en las

¹ Si el valor de la empresa es constante, una caída del precio de la acción debe incrementar el valor del bono en la estructura de capital, de manera que el apalancamiento financiero debe incrementarse.

tasas de interés tienen efectos en el nivel de apalancamiento financiero de la firma; así como el valor de la firma decrece cuando la tasa de interés se incrementa, el valor del bono y de la acción se reduce, sin embargo, el valor de la acción se reduce más que proporcionalmente en relación con la deuda, de tal forma, que aumenta la relación deuda/patrimonio.² Christie (1982) y Black (1976) han encontrado una relación negativa entre la volatilidad y el valor de la acción y relacionan esta particularidad de la volatilidad asimétrica de los rendimientos accionarios con los cambios en el nivel de apalancamiento financiero de la firma. Diversos trabajos realizados sobre el análisis de volatilidad de los rendimientos de la Bolsa Mexicana de Valores han documentado evidencia significativa sobre la presencia de efectos asimétricos en la volatilidad, por ejemplo, López (2004), Johnson y Soriano (2004), Selçuk (2005), Mota y Ludlow (2006), y Hernández, Morales y Rodríguez (2007).

2. Aspectos metodológicos

En términos generales, un modelo de volatilidad estocástica (modelos SV) es usado para describir series financieras de tiempo como una alternativa a los modelos tipos ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity). Al contener un proceso de ruido para las observaciones y otro para las volatilidades latentes, son más realistas y flexibles que los modelos ARCH, [Meyer y Yu, (2000)]. Los modelos SV contienen un componente de varianza no observada, cuyo logaritmo se modela directamente como un proceso estocástico lineal, tal como una regresión, véase Harvey *et al.* (1994). Sin embargo, la estimación mediante el método de máxima verisimilitud es difícil. Una alternativa para estudiar los modelos SV es el uso de otros métodos: momentos generalizados, cuasi-máxima verisimilitud, métodos eficientes de momentos, máxima verisimilitud aproximada, máxima verisimilitud simulada y mediante la inferencia bayesiana utilizando las técnicas de muestreo de Gibbs.

El *efecto apalancamiento (leverage) financiero* propone una relación negativa entre la volatilidad y el valor de la acción atribuida por el nivel de apalancamiento financiero de la firma. Es una explicación de un caso particular de la asimetría, de manera que arguye que las noticias negativas (caídas en los precios de las acciones) afectan en mayor medida a la volatilidad futura

² Consistente con la idea que el valor de la firma es una función inversa de la tasa de interés.

que las noticias positivas (incrementos en los precios) de igual magnitud. El modelo estocástico de volatilidad asimétrica incorpora la correlación (ρ) entre el error de los rendimientos u_t y el logaritmo de la volatilidad v_{t+1} : $\rho = \text{corr}(u_t, v_{t+1})$. Como afirman Meyer y Yu (2000), una correlación negativa implica que un rendimiento negativo está asociado con un shock de varianza positiva v_{t+1} . Selçuk (2005) considera que este coeficiente de correlación juega un papel fundamental en el espacio gaussiano no lineal de los estados. Considerando dicho coeficiente en el modelo del espacio de los estados de los rendimientos y su volatilidad, de acuerdo con Yu (2005) tenemos:

$$r_t = \sigma_t u_t \quad (1)$$

$$\ln \sigma_{t+1}^2 = \alpha + \phi \ln \sigma_t^2 + \sigma_v \sigma_t^{-1} \rho r_t + \sigma_v \sqrt{1 - \rho^2} w_{t+1} \quad (2)$$

$$w_{t+1} = \frac{(v_{t+1} - \rho u_t)}{\sqrt{1 - \rho^2}} \quad (3)$$

Selçuk (2005) muestra que el producto de los coeficientes σ_v , σ_t^{-1} y ρ determinan el efecto que tiene sobre la volatilidad un cambio en el rendimiento de la acción. El efecto asimétrico de los choques de los rendimientos sobre la volatilidad implica un sesgo negativo en la serie de rendimientos y el sesgo debe incrementarse con dicho cambio. Si ρ es negativo, entonces una caída en el rendimiento de la acción en el periodo actual resultará en un incremento $e^{\sigma_v \sigma_t^{-1} \rho}$ de unidad en la varianza del periodo inmediatamente siguiente, de tal forma, que el efecto es mayor que cuando ρ es positivo. Dado que $-\rho \sigma_v$ determina el cambio en la volatilidad como consecuencia de un *shock* en los rendimientos, Selçuk lo llama “efecto apalancamiento combinado”.

Siguiendo a Meyer y Yu (2000) podemos representar el modelo de la volatilidad asimétrica mediante la especificación de las ecuaciones de estado y de observación de la siguiente forma:

$$r_t | h_t, \rho = \exp\left(\frac{1}{2} h_t\right) u_t, \quad t = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$h_{t+1} \mid h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2, \rho = \alpha + \varphi(h_t - \alpha) + \sigma_v \nu_t \quad t = 1, \dots, n-1 \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} u_t \\ \nu_{t+1} \end{pmatrix} \sim N \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{pmatrix} \right\}. \quad (6)$$

Esta especificación implica una distribución normal bivariada tanto para $r_t \mid h_t, \rho$ como para $h_{t+1} \mid h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2, \rho$. Reescribiendo la densidad normal bivariada como el producto de la densidad de $h_{t+1} \mid h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2$ y la densidad de $r_t \mid h_{t+1}, h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2, \rho$, entonces el modelo puede especificarse como:

$$h_{t+1} \mid h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2 \sim N \{ \alpha + \varphi(h_t - \alpha), \sigma_v^2 \} \quad (7)$$

$$r_t \mid h_{t+1}, h_t, \alpha, \varphi, \sigma_v^2, \rho \sim N \left[\frac{\rho}{\sigma_v} e^{h_t/2} \{ h_{t+1} - \alpha - \varphi(h_t - \alpha) \}, e^{h_t(1-\rho^2)} \right]. \quad (8)$$

De acuerdo con el método de máxima verosimilitud aplicado para el enfoque de estimación bayesiana, la función que debe maximizarse para poder hacer inferencia sobre los parámetros, condicionados por los valores observados de los rendimientos, resulta ser:

$$\ell(\Theta \mid r) = \prod_{t=1}^T f(r_t \mid h_1, \dots, h_T) f(h_1, \dots, h_T \mid \Theta) dh_1 \dots dh_T, \quad (9)$$

donde Θ es el espacio de parámetros. La expresión en (9), es la expresión de la función de verosimilitud como una integral de dimensión T , evidentemente no manejable en forma analítica, pues dicha función no está disponible en forma cerrada para el modelo de volatilidad estocástica debido a que h_1, \dots, h_T son variables latentes (no observables). De hecho este problema ha obstaculizado la generalización del uso de los modelos de volatilidad estocástica pero en la literatura se han propuesto diferentes alternativas para estimar los parámetros de los modelos de volatilidad estocástica, como el método general de momentos o el de cuasi-máxima verosimilitud, destacan-

do el uso de métodos de simulación basados en Cadenas de Markov de Monte Carlo (MCMC) que se cuentan entre las mejores opciones para obtener la información que la función de verosimilitud proporciona sobre los parámetros cuando se cuenta con muestras finitas.

Si se incrementa el espacio de los parámetros tomando en consideración $\Theta = (\alpha, \varphi, \sigma_v^2, \rho)$ y $h = (h_1, \dots, h_T)$, mediante el Teorema de Bayes se tiene:

$$p(\Theta, h|r) \propto p(y|\Theta, h) p(h|\Theta) p(\Theta). \quad (10)$$

Se puede efectuar inferencia de tipo bayesiana sobre los parámetros del modelo y los estados de volatilidad con base en la distribución posterior

$$p(r_t|\theta, h_t) = f_N(0, \exp(h_t)) \propto \frac{1}{\exp(h_t/2)} \exp\left(-\frac{r_t^2}{2 \exp(h_t)}\right). \quad (11)$$

El problema se convierte, entonces, en efectuar un muestreo del espacio aumentado de los parámetros $\theta \in \Theta$ y de h , para lo cual pueden ser útiles los métodos MCMC, en particular el Algoritmo Metropolis-Hastings y el Muestreador de Gibbs. Los métodos MCMC permiten generar muestras adecuadas de la probabilidad de un espacio de alta dimensión mediante el diseño de una Cadena de Markov cuya probabilidad es estacionaria o invariante basándose en los datos observados, $r = (r_1, \dots, r_T)$, y una función de densidad previa $f(\theta)$ del conjunto de parámetros para encontrar la función de densidad posterior $f(\sigma|r)$, $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_T)$, y $f(\theta|r)$ a partir de la función de densidad conjunta posterior $f(\sigma, \theta|r)$.

La Cadena de Markov $\{X_k\}$ puede generarse por medio de métodos de simulación de Monte Carlo, obteniendo como resultado $X_{k+1} = (\sigma^{(k+1)}, \theta^{(k+1)})$ a partir de X_k y una función de densidad de transición $f(X_{k+1}|X_k)$. El estimador puntual de θ está dado por:

$$\hat{\theta} = \frac{\theta^{(M+1)} + \dots + \theta^{(N)}}{N - M}, \quad (12)$$

donde los primeros M resultados se descartan para eliminar la influencia del valor inicial X_1 , denominándose periodo de *burn-in*.

El Muestreador de Gibbs, algoritmo propuesto por Geman y Geman (1984) como caso especial del Algoritmo Metropolis-Hastings, supone que dado un vector aleatorio $X = (X_1, \dots, X_k)$ es posible generar valores de sus distribuciones condicionales completas π_i , es decir:

$$X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_k \sim \pi_i(x_i | x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k), \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, k$$

Con base en ese supuesto se generan y actualizan valores del vector en forma iterativa según el algoritmo:

$$\text{Dado } x^n = (x_1^n, \dots, x_k^n)$$

1.- Repetir para $n = 1, 2, \dots, M$:

2.- Generar:

$$X_1^{n+1} \sim \pi_1(x_1 | x_2^n, \dots, x_k^n)$$

$$X_2^{n+1} \sim \pi_2(x_2 | x_1^{n+1}, x_3^n, \dots, x_k^n)$$

$$X_3^{n+1} \sim \pi_3(x_3 | x_1^{n+1}, x_2^{n+1}, x_4^n, \dots, x_k^n)$$

⋮

$$X_k^{n+1} \sim \pi_k(x_k | x_1^{n+1}, x_2^{n+1}, \dots, x_{k-1}^{n+1})$$

3.- Incrementar n .

3. Análisis empírico

En esta sección se describe el comportamiento de los rendimientos del mercado bursátil mexicano y se muestran los resultados del análisis de su volatilidad que se llevó a cabo mediante la metodología reseñada en la sección anterior. La muestra total analizada, la cual comprende las observaciones del primer día hábil de enero de 2000 al 25 de marzo de 2014, se dividió en tres periodos: el primero con las observaciones desde el lunes tres de enero de 2000 hasta el 30 de diciembre de 2005, el segundo periodo comprende los rendimientos

del dos de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre de 2010 y el último periodo cubre los rendimientos observados del 3 de enero de 2011 hasta el final de la muestra total. Los rendimientos diarios se calcularon como:

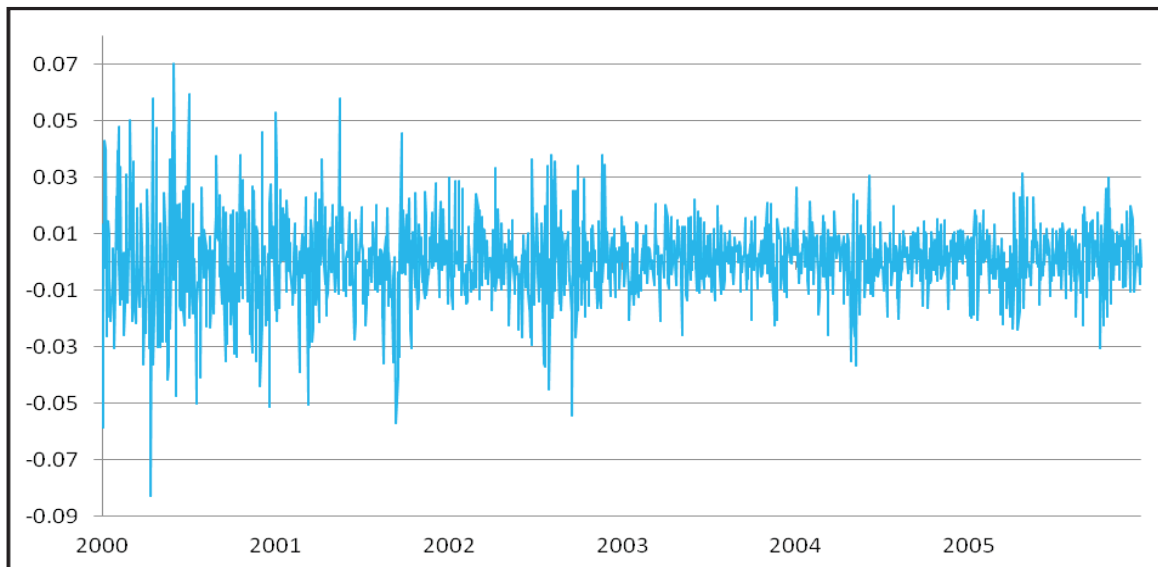
$$r_t = \ln \left(\frac{IPC_t}{IPC_{t-1}} \right)$$

donde r_t es el rendimiento diario del IPC en el día t , IPC_t es el valor del Índice de precios y Cotizaciones al cierre del día t y IPC_{t-1} es el valor de ese índice al cierre del día $t-1$.

La crisis Argentina en 2000, los sucesos del 11 de septiembre del 2001, la guerra en Irak, la incertidumbre sobre los mercados financieros emergentes, la recesión de la economía norteamericana y mundial, y las quiebras corporativas de Enron y WorldCom en el 2002, mitigaron el optimismo en los mercados financieros nacionales e internacionales. Algunos de los principales índices accionarios del mundo perdieron gran parte de su valor, por ejemplo, en septiembre de 2002 el índice Nikkei registró su 19 pérdida del año, el NASDAQ, Germany's Neuer Market y Switzerland's New Market registraron importantes pérdidas en esas fechas. Sin embargo, el comportamiento y dinamismo del IPC fue relativamente favorable durante 2001 y 2002, motivado por los mayores niveles de certidumbre generados por la nueva política monetaria y fiscal, las cuales han permitido bajas tasas de interés, aumentos significativos en las reservas internacionales, niveles bajos del riesgo país e inflación. Como lo muestra la Figura 1, en todo el periodo comprendido, los rendimientos diarios del IPC tuvieron su mayor pérdida el 14 de mayo del año 2000 con un retroceso del 8%, no obstante, también puede verse grandes caídas en ese mismo año como el 4 de enero (-5.8%) y 19 de septiembre (-5%). Durante el año 2001, el único desplome mayor al 5% fue el 11 de septiembre, de tal manera que, en términos generales durante ese año se mantuvo una relativa estabilidad. Inmediatamente después del 11 de septiembre de 2001 sólo hubo un cambio superior a 5%, el cual sucedió el 19 de septiembre del 2002 (-5.4%).

Durante 2004 y 2005, la disminución de las tasas de interés internas, la baja de los rendimientos de los bonos del Tesoro de EUA, el menor riesgo país, una moneda relativamente estable, el crecimiento económico mundial, las menores presiones inflacionarias y el crecimiento de las utilidades de las principales empresas mexicanas, coadyuvaban a menores niveles de volatilidad.

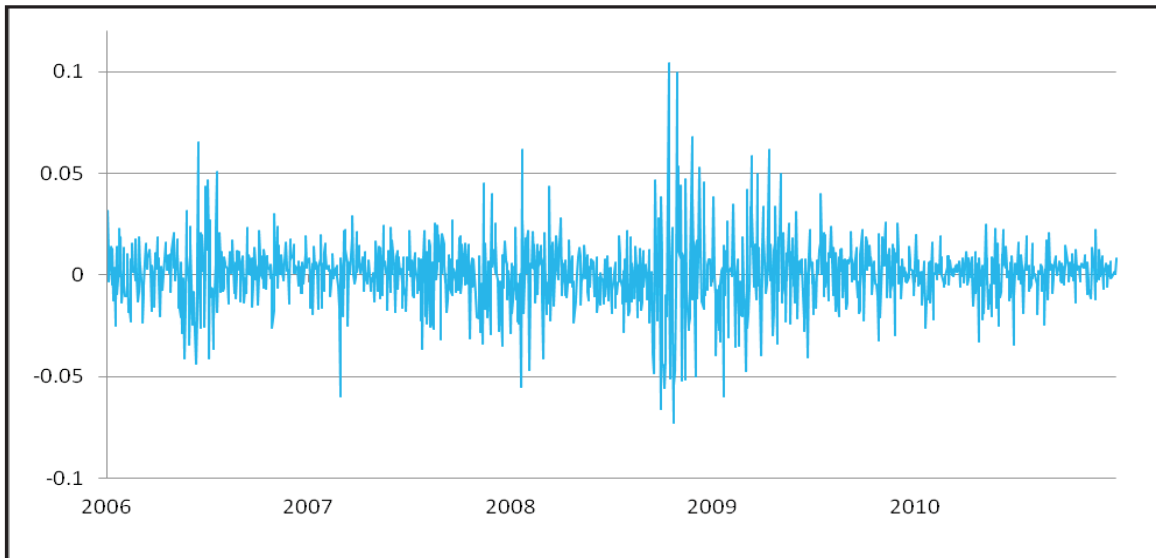
Figura 1. Rendimientos diarios del IPC: (2000-2005)



Durante el año 2005, a pesar del incremento del precio del petróleo, las condiciones del mercado accionario mexicano se mantuvieron estables. De acuerdo con diversos analistas financieros, las condiciones favorables de los mercados internacionales, el menor riesgo país cercano a niveles históricos de 100 puntos, el incremento de las reservas internacionales, una moneda relativamente estable, una política monetaria más relajada y la solidez de las emisoras de triple A fueron factores fundamentales para sólidas trayectorias alcistas de la BMV nunca vistas desde 1986. Debido a ello, en 2005 la BMV se incluyó en la lista de las diez primeras bolsas del mundo con el mayor incremento de emisoras extranjeras y una de las mejores opciones de inversión del sistema financiero mexicano. En términos generales, como lo muestra la Figura 1, los mayores niveles de volatilidad en el mercado accionario acontecieron durante el año 2000, sin embargo, puede observarse que se presentaron ciertos agrupamientos como en el año 2004 y finales del 2005.

Durante el año de 2006 la economía mundial registró un importante crecimiento, que se caracterizó por ser más dinámico y generalizado en relación a otros años, así mismo, existieron condiciones favorables en los mercados financieros internacionales. El crecimiento global y la inflación moderada contribuyeron al mantenimiento de condiciones favorables para las economías emergentes en los mercados financieros internacionales. En la Figura 2, se muestra que durante la mitad del año, el IPC tuvo considerables niveles de volatilidad.

Figura 2. Rendimientos diarios del IPC: 2006-2010



En el año 2007 la economía mundial mostró un ritmo de crecimiento importante. Sin embargo, el agravamiento de los instrumentos financieros respaldados por hipotecas de baja calidad en los Estados Unidos ocasionó una crisis en los mercados financieros internacionales afectando de manera significativa a diversas instituciones relacionadas como bancos comerciales, aseguradoras de bonos y agencias calificadoras. Durante el segundo semestre la crisis afectó de manera significativa en un aumento de la aversión al riesgo en los mercados crediticios derivando una crisis de liquidez y ampliación de las primas al riesgo. Los mercados accionarios internacionales tuvieron una importante volatilidad durante ese año, principalmente en las empresas de los sectores financieros de los países desarrollados. De acuerdo con el informe anual del Banco de México de ese año, las economías emergentes tuvieron poco impacto debido principalmente a las condiciones económicas fundamentales en años anteriores así como a la trayectoria de sus términos de intercambio. En el caso de México el IPC tuvo niveles considerables de volatilidad, como se observa también en la Figura 2, el 27 de febrero sufrió una pérdida de alrededor del 5.9%.

El desempeño de la economía mundial en el año 2008 fue considerablemente afectado por los altos niveles de volatilidad en los mercados financieros. La tasa de crecimiento del PIB mundial cayó de 5.2% en 2007 a 3.8 en 2008. Los mercados financieros internacionales estuvieron marcados por condiciones desfavorables. La incertidumbre, restricción de liquidez, caída de

los precios de los activos observadas en los mercados estadounidenses, así como la quiebra de Lehman Brothers, repercutieron en otros segmentos de los mercados financieros y en otros países del mundo, de tal manera, que aumentó el riesgo de colapso del sistema financiero internacional. Los flujos de capital hacia las economías emergentes se contrajeron importantemente de tal manera que afectó los mercados cambiarios, accionarios y de deuda de muchos países. La Bolsa Mexicana de Valores fue severamente afectada por los mercados financieros internacionales, el IPC presentó movimientos bruscos como el 21 de enero de 2008 al caer 6.6%. Durante el segundo trimestre de 2009, la actividad económica mundial empezó a recuperarse. Los mercados financieros internacionales a partir del segundo semestre mostraron un proceso de recuperación pero sin llegar a lograrlo, sin embargo, durante el año se observaron varios cambios en la confianza de los mercados debido a la percepción de las condiciones económicas mundiales, y a la situación de Grecia al final del año. Por ejemplo, el 20 de enero el IPC registró una pérdida del 5.9% como se muestra en la Gráfica 1. La economía mundial durante 2010 continuó con la recuperación que inició en la segunda mitad del año 2009.

De acuerdo con el informe anual del Banco de México, durante 2010, México consolidó el proceso de reactivación de la actividad que inició en el segundo semestre de 2009, consecuencia del crecimiento por la economía mundial, particularmente por la actividad industrial en Estados Unidos. Por otro lado, la sostenibilidad fiscal y la solvencia del sistema bancario de algunos países europeos incrementaron considerablemente la incertidumbre en los mercados financieros. Las bolsas de valores de las economías emergentes tuvieron ganancias importantes particularmente en la segunda mitad del año, por ejemplo, el IPC registró el 10 de mayo un rendimiento diario de 2.5%. En términos generales, el año 2010 presentó niveles de volatilidad relativamente menores que los años anteriores.

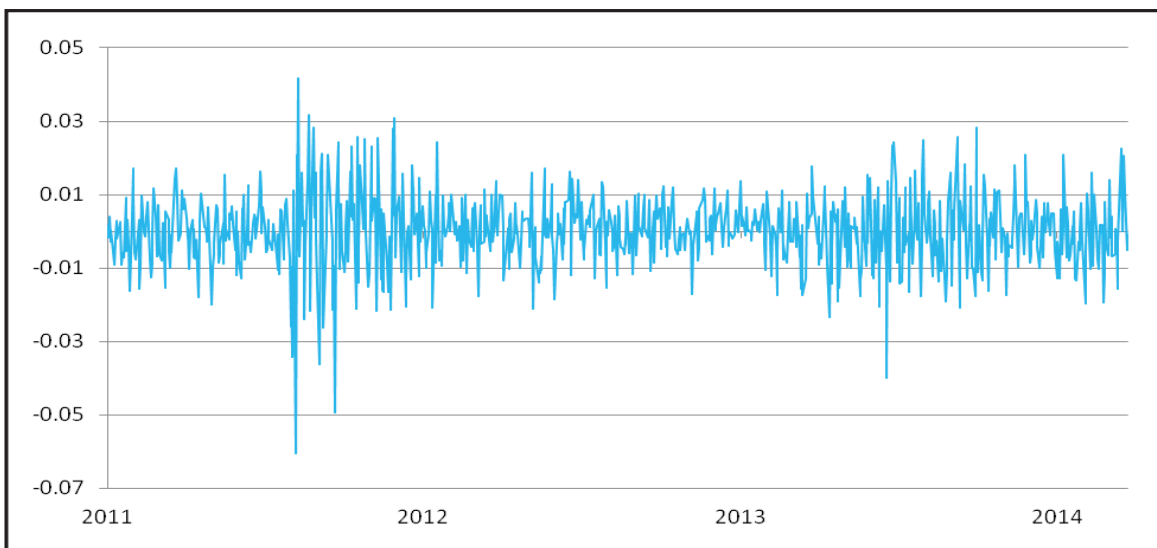
La recuperación económica mundial perdió vigor en 2011 que se había iniciado en la segunda parte de 2009. Durante la segunda mitad del año, disminuyó la confianza a nivel global, provocando una retroalimentación negativa entre la actividad económica y la debilidad de los mercados financieros. El aumento del riesgo de contagio debido a los problemas fiscales y financieros de algunos países de la zona del euro deterioró las condiciones en los mercados financieros internacionales al elevar la incertidumbre en los mercados financieros. De acuerdo con el informe anual del Banco de México, en la segunda mitad del año, el riesgo provocado por la crisis en la zona del euro tuvo un impacto negativo en los mercados financieros de las economías emergentes.

Como se muestra en la Figura 3, el IPC registró altos niveles de volatilidad a finales del año, por ejemplo, el 8 y 11 de agosto los rendimientos exhibieron una pérdida de 6% y una ganancia de 4.2%, respectivamente.

El proceso de desendeudamiento en los principales países avanzados, los problemas en la zona euro y la incertidumbre sobre la magnitud del ajuste fiscal previsto para 2013 en Estados Unidos, redujeron el ritmo del crecimiento de la economía mundial durante el 2012. La desaceleración del crecimiento económico mundial repercutió tanto a las economías avanzadas como a las emergentes, de manera, que hubo una menor expansión del comercio internacional. En los mercados financieros internacionales se observó una elevada volatilidad durante el segundo trimestre de 2012 y la mayor parte del tercero, debido, principalmente, a las dificultades de refinanciamiento de diversos países de la zona del euro. Sin embargo, en los últimos meses del año los mercados financieros tuvieron una mejoría significativa de manera que mejoró los flujos de capital hacia los mercados emergentes repercutiendo en la apreciación de las monedas y en las alzas de los índices accionarios de la mayoría de las economías emergentes. En el caso del IPC, se observan en la Figura 3, niveles significativos de volatilidad sobre todo en la primera mitad del año, pero en general niveles de volatilidad menores al año previo.

En en primer trimestre del 2013 los mercados financieros internacionales tuvieron un mejor desempeño motivado por las medidas que adoptaron las autoridades de las principales economías avanzadas para fortalecer la recuperación económica. No obstante, se siguieron registrando

Figura 3. Rendimientos diarios del IPC: 2011-2014



ciertos niveles de volatilidad debido fundamentalmente a los problemas fiscales y financieros de varias economías de la zona euro, y a la incertidumbre derivada de eventos de tipo político en algunos países. En el segundo trimestre, de acuerdo al informe anual del Banco de México, todos los mercados emergentes se vieron afectados por la referida volatilidad, sin embargo, para el caso de México el impacto fue de menor intensidad. Durante el tercer trimestre, los mercados financieros internacionales registraron una elevada volatilidad, debido a la expectativa de un cambio en la política monetaria en EUA. Durante el cuarto trimestre de 2013, la actividad económica en México continuó a un menor ritmo de crecimiento que inició en el tercer trimestre. Finalmente, en el cuarto trimestre, con lo que respecta a los flujos de capital hacia México, éstos mostraron altos niveles de volatilidad y particularmente en las primeras semanas de 2014. En términos generales en ese trimestre, los mercados financieros internacionales registraron mayor volatilidad ante la reducción en la compra de activos por parte de la Reserva Federal, principalmente en el caso de las economías emergentes. En la Figura 3, de manera general se puede ver que el IPC, durante el 2013 e inicios del 2014, tuvo mayores niveles de volatilidad respecto al año previo y menores respecto al año 2011.

En el Cuadro 1 se presentan las estadísticas descriptivas de los rendimientos en cada uno de los dos periodos. Los rendimientos de los tres periodos descritos anteriormente, presentan en todos los casos media negativa y muy cercana a cero, su distribución es asimétrica con sesgo negativo en el primer y el tercer periodos, en tanto que en el segundo se observa el sesgo con signo positivo. En los tres periodos se observa que los rendimientos siguen una distribución leptocúrtica que no está distribuida de forma normal, según el valor de la curtosis y el valor del estadístico de Jarque y Bera.

La estimación del modelo asimétrico de volatilidad estocástica se llevó a cabo en el paquete OpenBUGS Versión 3.2.3,³ empleando la misma especificación de las distribuciones previas propuestas por Yu (2005) y Selçuk (2005), considerando los rendimientos diarios estimados. Se asume que $\sigma_v^2 \sim IG(2.5, 0.025)$, de manera, que se asegura que la variabilidad de la volatilidad es positiva y relativamente baja. Por otra parte, el proceso de volatilidad puede tener un término constante normalmente distribuido, y como

³ OpenBUGS es un paquete computacional para realizar la inferencia bayesiana usando muestreo de Gibbs al igual que el paquete BUGS cuyo nombre se derivó a partir de Bayesian Analysis Using Gibbs Sampling.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de los rendimientos diarios del IPC

Periodo	<i>n</i>	Media	Desviación estándar	Curtosis	Sesgo	Valor máximo	Valor mínimo	Estadístico Jarque- Bera
2000-2005	1513	-2.84E-12	0.013951	6.044849	-0.110639	0.069594	-0.083278	587.5526
2006-2010	1256	-3.66E-12	0.016088	7.719213	0.166671	0.103792	-0.073276	1171.329
2011-2014	812	-5.90E-12	0.009994	6.065683	-0.317099	0.041633	-0.060659	331.5876

no existe información previa se asume que tiene media cero $\alpha \sim N(0, 0.04)$. Dado que se acepta como supuesto que el parámetro de la persistencia de la volatilidad ϕ^* es cercano y menor a la unidad, se emplea una distribución previa $\phi^* \sim \beta(20, 1.5)$, donde $\phi = 2\phi^* - 1$, lo cual implica una media previa ϕ de 0.86, así tenemos una alta probabilidad de estacionariedad. Por último, se supone que $\rho \sim U(-1, 1)$ ya que no hay información previa sobre este parámetro.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las estimaciones. Una forma de evaluar la precisión de las estimaciones de las distribuciones posteriores de los parámetros, es calculando el error de Monte Carlo correspondiente a cada parámetro estimado, dicho error es una estimación de la variabilidad de las simulaciones que se calcula como la diferencia entre la media de los valores muestreados (que usamos como nuestra estimación de la media posterior de cada parámetro) y la media real posterior; como regla general, la simulación se debe ejecutar hasta que el error de Monte Carlo para cada parámetro de interés es menor que aproximadamente el 5% de la desviación estándar de la muestra, lo cual evidentemente se cumple ampliamente en las estimaciones efectuadas. Como puede verse en los parámetros estimados, los valores de las medias del parámetro que da cuenta de la persistencia de la volatilidad, ϕ , cambian muy poco en los tres periodos, siendo iguales los valores estimados en los dos primeros. Algo similar se puede decir en relación con el valor estimado del parámetro correspondiente a la volatilidad de la volatilidad, σ_v , el cual a pesar de ser distinto en los tres periodos, únicamente cambia en forma marginal. Se observa también que en los periodos de 2000 a 2005 y de 2006 a 2010 los valores de los parámetros ρ , ϕ y σ_v indican que no hay evidencia contundente del llamado “efecto leverage” puesto que el valor de la media posterior que resulta en la estimación efectuada tiene signo positivo. Sin embargo, el valor estimado para dicho parámetro en el periodo que comprende de 2010 a 2014 sí se encuentra

Cuadro 2. Estimación del modelo de Volatilidad Estocástica
Asimétrico de los rendimientos diarios del IPC

Medias posteriores de los parámetros con 110,000 iteraciones^b				
<i>Periodo</i>	$\hat{\rho}$	$\hat{\phi}$	$\hat{\sigma}_v$	$\hat{\rho} \hat{\sigma}_v$
2000-2005	0.001235 (-0.9501, 0.9501) [0.001827] {0.5771}	0.8609 (0.5898, 0.989) [0.0003526] {0.107}	0.1187 (0.0623, 0.2435) [0.0001553] {0.04965}	0.00015
2006-2010	0.001094 (-0.9508, 0.9496) [0.1191] {0.5771}	0.8609 (0.5897, 0.9894) [0.0003392] {0.107}	[0.00191] (0.06241, 0.2467) [0.0001422] {0.05061}	0.00013
2011-2014	-0.001571 (-0.9491, 0.9482) [0.001746] {0.5772}	0.8604 (0.587, 0.9894) [0.0003499] {0.1076}	0.1189 (0.06243, 0.2439) [0.0001567] {0.0494}	-0.00019

^a El modelo se estimó en OpenBUGS con el código para WinBUGS⁴ utilizado por Meyer y Yu (2000), se agradece al Dr. Yu por haber facilitado dicho código.

^b Se efectuaron 10,000 iteraciones como periodo de *burn-in* las que fueron descartadas y la inferencia se basa sólo en 100,000 iteraciones.

Los números entre paréntesis redondos son los intervalos de credibilidad posteriores al 95%, los números entre paréntesis cuadrados son los errores de Monte Carlo y los números entre llaves son las desviaciones estándar de las distribuciones posteriores de los parámetros.

evidencia suficientemente clara de la presencia de dicho efecto dado que el valor estimado de la media posterior de ρ es negativo (-0.001571).

Dada la magnitud pequeña del valor estimado para ρ en el último de los periodos analizados, el valor de la estimación del efecto apalancamiento combinado también resulta muy pequeño. Lo anterior sugiere que la asimetría propia del efecto apalancamiento únicamente será considerable ante caídas muy fuertes en los rendimientos, siendo sólo marginal el impacto que tendrá en la volatilidad del día siguiente la ocurrencia de un *shock* negativo moderado en los rendimientos en un día dado.

⁴ Tanto WinBUGS como OpenBUGS permiten realizar la inferencia bayesiana usando el muestreo de Gibbs, la diferencia es que OpenBUGS es el último desarrollo para BUGS.

Conclusiones

En este trabajo se ha analizado la volatilidad del mercado bursátil mexicano en tres periodos, el preámbulo de la crisis financiera mundial de fines del siglo pasado, el periodo de efervescencia de la misma y el periodo posterior.

Para llevar a cabo dicho análisis se recurrió a la estimación de un modelo de volatilidad estocástica asimétrica mediante el método de Cadenas de Markov de Monte Carlo. Una cuestión importante a considerar es el comportamiento de la persistencia de la volatilidad, medida por el parámetro ϕ y la volatilidad de la misma volatilidad recogida por medio del parámetro σ_v . Además de significativa, la persistencia de la volatilidad en los dos periodos de estudio se comporta en forma bastante similar, prácticamente sin diferencia distinguible, pero notoriamente por debajo de los valores que normalmente se han estimado mediante modelos de la familia GARCH. De la misma forma encontramos que los valores estimados de la volatilidad de la volatilidad son prácticamente indistinguibles en los dos periodos. No obstante es conveniente destacar que para el periodo del seis de junio de 1996 al 29 de diciembre de 2000, Selçuk (2005) estima un valor de 0.86 para ϕ , es decir, el mismo que se reporta en el presente estudio. En el caso de σ_v , la estimación presentada anteriormente difiere considerablemente del valor de 0.5 que presenta Selçuk en dicho estudio.

La estimación del modelo asimétrico de volatilidad estocástica permitió capturar la asimetría de los *shocks* en la volatilidad y respecto al “efecto leverage” es de destacarse que únicamente se encontró evidencia de su presencia en los rendimientos del IPC durante el periodo de 2011 hasta el fin de la muestra. Sin embargo, es necesario destacar que la magnitud estimada de dicho efecto resulta pequeña en relación con las estimaciones previas presentadas por otros estudiosos, como Selçuk (2005) quien encuentra un valor de -0.32 para ρ durante el periodo antes mencionado, valor que resulta notoriamente mayor al que hemos reportado en el cuadro 2 de este documento.

Los hallazgos aquí reportados sugieren que si bien la persistencia de la volatilidad se ha mantenido bastante estable a lo largo de casi 20 años, considerando el periodo analizado en Selçuk (2005) y los resultados del presente estudio, tanto la volatilidad de la volatilidad como el efecto apalancamiento (cuando exhibe su presencia) han disminuido en forma ostensible. Naturalmente, es conveniente profundizar en el análisis de los rendimientos del mercado accionario mexicano para consolidar los conocimientos sobre

los efectos asimétricos, en particular sobre el llamado efecto apalancamiento que ha nutrido parte importante de la literatura respectiva.

Bibliografía

- Bekaert, G. y Wu, G. (2000). "Asymmetric Volatility and Risk in Equity Markets". *The Review of Financial Studies* 13(1): 1-42.
- Bessembinder, H. y Seguin, P. J. (1993). "Price Volatility, Trading Volume, and Market Depth: Evidence from Futures Markets". *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 28(1): 21-39.
- Black, F. (1976). "Studies of Stock Price Volatility Changes". Proceedings of the 1976 *Business Meeting of the Business and Economics Statistics Section American Statistical Association*: 177-181.
- Christie, A. A. (1982). "The Stochastic Behavior of Common Stock Variances. Value, Leverage and Interest Rate Effects". *Journal of Financial Economics* 10(4): 407-432.
- Fernández Izquierdo, M. A. y Aragón Manzana, V. (2002). "Transmisión de la Volatilidad entre los Mercados Bursátiles desde la Perspectiva de la Bolsa Española". Ponencia, V Encuentro de Economía Aplicada, Oviedo, España.
- Geman, Stuart y Geman, D. (1984). "Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 6(6): 721-741.
- Harvey, A. C., Ruiz, E. y Sheppard, N. (1994). "Multivariate Stochastic Variance Models". *Review of Economics Studies* 61(2): 247-264.
- Hernández Ángeles, I. F., Morales Castro, A. y Rodríguez Benavides, D. (2007). "Eficiencia y Volatilidad del Mercado Accionario en México, 1988-2005". *Revista de Análisis Económico y Social* 57(11): 898-905.
- Johnson, Christian A. y Soriano, F. A. (2004). "Volatilidad del Mercado Accionario y la Crisis Asiática, Evidencia Internacional de Asimetrías". *El Trimestre Económico* 71 (2): 355-388.
- Lanteri, L. (2004). "Efectos Asimétricos de la Incertidumbre en la Inflación y en la Actividad Económica Real: El Caso Argentino". Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, IX Reunión de la Red de Investigadores de Bancos Centrales, San José, Costa Rica
- López Herrera, F. (2004). "Modelado de la Volatilidad y Pronóstico del Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores". *Contaduría y Administración* 49(2): 43-72.

- Meyer R., y Yu, J. (2000). "BUGS for a Bayesian Analysis of Stochastic Volatility Models". *Econometrics Journal* 3: 198-215.
- Mota, B. y Ludlow J. (2006). "Volatilidad del IPC, Nasdaq y SP&500: un modelo Garch multivariado". *Análisis Económico* 21(48): 215-227.
- Schwert, W. (1989). "Why Does Market Volatility Change Over Time?" *Journal of Finance* 44(5):1115-1153.
- Selçuk, F. (2005). "Asymmetric Stochastic in Emerging Stock Markets". *Applied Financial Economics* 15(12): 867-874.
- Yu, J. (2005). "On Leverage in a Stochastic Volatility Model". *Journal of Econometrics* 127: 165-178.