

Estimación de modelos multivariados GARCH en los mercados accionarios de China y México

Multivariate GARCH Models Estimation for China and Mexico's Stock Markets

Francisco Javier Reyes Zárate*

Fecha de recepción: 12 de mayo de 2015

Fecha de aceptación: 18 de agosto de 2015

* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco,
Departamento de Administración
fjrz@correo.azc.uam.mx.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad, analizar la existencia de interdependencia entre los mercados bursátiles de China y de México mediante la aplicación de modelos econométricos multivariados heteroscedásticos de series de índices accionarios de los mercados de Shanghai, Shenzhen y Hang Seng pertenecientes a China, y el índice de precios y cotizaciones de México. El periodo de análisis comprende del 5 de enero de 2009 al 31 de diciembre de 2014 con un total de 1 563 observaciones diarias. Por un lado se encontró que existen asimetrías en los mercados y una correlación débil, señal de una nula o escasa transmisión de volatilidad entre los mercados de China y México. Sin embargo, este último mercado ofrece mayores ventajas de rendimiento y bajo riesgo. Por otra parte, el modelo CCC explica de mejor forma la conducta de la varianza condicional en el tiempo, siendo éste el modelo que mejor comportamiento y parsimonia demuestra sobre los activos financieros internacionales sujetos a estudio.

Clasificación JEL: C3, C31, C51, G15.

Palabras clave: volatilidad, modelo econométrico, modelos GARCH multivariados, México, China.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the existence of interdependence among China and México's stock markets by analyzing their financial indexes. Series of stock markets from Shanghai, Shenzhen y Hang Seng (this three markets belong to China) and Mexico's stock price index quote are modeled. The analysis covers the period from January 1st, 2009 to December 31st, 2014 with a total of 1,563 daily observations. For empirical evaluation multivariate GARCH models D-Vech, D-BEKK and Conditional Correlational Constant (CCC) were used in order to find the best model that explain the behavior of dynamic conditional volatility over time. On the one hand it was found that there are asymmetries in the market and a negligible positive correlation, a weak signal transmission of volatility between the markets of China and Mexico. However, the latter market offers greater performance benefits and low risk. Moreover, the CCC model best explains the behavior of the conditional variance in time, which is the model that shows better performance and parsimony for the international financial assets subject to study.

JEL Classification: C3, C31, C51, G15

Keywords: *volatility, econometric model, multivariate GARCH models, Mexico, China.*

Introducción

El proceso de liberalización y desregulación que ha ocurrido alrededor de los últimos veinticinco años en muchos mercados de capitales ha tenido, al día de hoy, severos impactos en su grado de respuesta, sobre todo de las economías emergentes. El grado de vinculación del mercado chino con el exterior tiene grandes implicaciones para las compañías domésticas y los inversionistas externos; asimismo, la economía mexicana ha mostrado avances positivos como una medida de adaptación en respuesta a los cambios en la economía financiera en la esfera internacional. Después de un periodo de madurez en donde las economías emergentes se mostraban menos eficientes a principios de los años noventa en cuanto a la presencia de resultados, en relación con los beneficios y riesgos que representan, en comparación con los mercados bursátiles de economías desarrolladas (Lee, 2001), en la actualidad las dos economías sujetas al presente estudio ofrecen al inversionista extranjero opciones que deben ser reconocidas en función del impacto que han mostrado en el comportamiento general de sus rendimientos así como del riesgo de mercado que generan. A pesar de mejorar el marco legal y reducir sus barreras de entrada, en los últimos tiempos, el mercado financiero chino muestra la evidente particularidad de la existencia del control gubernamental (Boyreau *et al.* 2005), y compite internacionalmente con tres importantes mercados: Shanghai, Shenzhen y Hang Seng (los dos primeros se ubican en China y el tercero se ubica en Hong Kong), en general, está dividido en dos mercados segmentados: el mercado “A”, cuyas acciones se restringen a inversionistas nacionales; y el mercado “B”, cuyas acciones se restringen solamente a inversionistas extranjeros. Por su parte, después de haber sido la primera y desafortunada víctima de la globalización financiera debido a los efectos de la crisis internacional bajo el denominado “efecto Tequila”, el mercado bursátil mexicano es actualmente una de las economías emergentes más atractivas para la inversión, porque ha demostrado un crecimiento en los últimos años, como se revisará más adelante.

Los constantes movimientos en los mercados internacionales, el nivel de desarrollo de las economías así como también el grado de desarrollo de sus

mercados financieros permiten competir y ser eficientes en cuestiones de liquidez, información, inversión y movilización de ahorros, principalmente. A medida que la liberalización y la desregulación financiera han presentado cambios como la integración financiera bajo el enfoque de la globalización, la dinámica de los rendimientos ha permitido tener la oportunidad de obtener mejores beneficios y un mayor grado de inversión gracias al efecto de la diversificación, sin embargo también ha presentado consecuencias tanto indeseables como inesperadas. El grado de codependencia de los mercados ha provocado un sistema complejo con diversos efectos negativos —como una alta volatilidad— así como otros factores endógenos y su transmisión a otros mercados mediante el llamado efecto (riesgo) de contagio, fenómeno desestabilizador que conlleva a crisis bursátiles de manera rápida y simultánea (López, *et al.*, 2009). De esta manera, el interés particular del presente artículo es observar si dicho grado de integración ha determinado el comportamiento de los mercados bursátiles de México y China, cuyos vínculos han sido cada vez más estrechos y abundantes, a partir de inicios de la década de los noventa bajo crecientes flujos comerciales y de inversión bilateral, transformando la competencia entre ambas economías en una relación bilateral estratégica de la sociedad (véase Villalobos, 2007 y Anguiano, 2007).

La importancia de analizar ambos mercados radica en que, dadas las condiciones del comportamiento histórico de sus bolsas de valores, podrían aprovecharse las oportunidades que ofrecen las dos economías en su conjunto y tomar estrategias de inversión, es decir, en el presente estudio se analizan los mercados financieros de China y México observando si existen efectos de segmentación, o bien, cierto grado de correlación que determinen la posible existencia de una integración financiera y un grado de codependencia en los mercados bursátiles de ambas economías. Lo anterior, a fin de evidenciar oportunidades de inversión en todos o algunos de sus mercados bursátiles. Los hallazgos aportarían conclusiones para futuros estudios mediante la posibilidad de aplicación de algunos instrumentos cuantitativos de la ingeniería financiera, por ejemplo.

El presente artículo modela económicamente los tres mercados bursátiles de China y el mercado bursátil de México mediante el enfoque GARCH multivariado. La importancia del análisis radica en que estos modelos analizan el efecto “spillover” (transmisión de la volatilidad) y detectan aquél que mejor se ajuste al comportamiento asimétrico del rendimiento de los índices accionarios de los mercados financieros de las economías sujetas a estudio, mediante la garantía de obtener una matriz de varianza-covarianza positi-

va, a diferencia de los modelos univariados, que se utilizan para el estudio de la interrelación de las volatilidades de los mercados financieros. Lo anterior permitirá, por un lado, generar evidencia empírica que permita una posterior construcción de enfoques de cartera y administración del riesgo de mercado, así como tener los elementos necesarios para reforzar la toma de decisiones en las inversiones de portafolios. Por otra parte, se podrá revisar también el grado de integración de estos mercados con respecto al mercado internacional.

Existe bibliografía extensa sobre el análisis de la volatilidad en las bolsas de valores de países desarrollados y apenas comienza a darse una mayor participación en este sentido, con respecto al análisis de estos fenómenos en las bolsas de los mercados emergentes. Sin embargo, el análisis conjunto de dos economías emergentes con características asimétricas en sus mercados financieros como lo son las economías china y mexicana, es escasa, o más aún, inexistente. En México, solamente Anguiano y Rodríguez (2011), documentan la evolución del mercado financiero de China en cuanto a tamaño y eficiencia en años recientes.¹

El trabajo está dividido en los siguientes apartados: en la primera sección se realiza la revisión de la literatura, referente a los trabajos relacionados con la aplicación del enfoque GARCH multivariado en mercados bursátiles. En la segunda sección se revisan los aspectos metodológicos, mediante el desarrollo de los modelos multivariados GARCH propuestos en el presente trabajo. La tercera sección destaca la evaluación empírica, mediante el análisis sobre la aplicación de los modelos GARCH multivariados en los índices accionarios de China y México; se analizan y comparan los modelos planteados a fin de establecer cuál es aquel que mejor explica el comportamiento de la volatilidad y sus asimetrías en los índices accionarios involucrados. Por último se presentan las principales conclusiones.

¹ Sin embargo, solamente se compara a esta economía con la mexicana en cuanto a la aplicación de una política de rescate similar al FOBAPROA mexicano después de la crisis financiera china, aunque el objetivo fue diferente, es decir, nunca se consideró la opción de privatizar empresas y bancos, sino que la financiación con los recursos públicos —impuestos de los contribuyentes— para mantenerlos rentables y eficientes bajo la premisa de financiar la producción real de bienes y servicios. A nivel internacional, existe literatura abundante sobre el tema de la evolución, desarrollo, tamaño, eficiencia y modelación del mercado financiero chino; se sugiere revisar los trabajos de Ma (1996), Song et. al. (1998), Tsui y Yu (1999), Lee (2001), Gao y Kling (2006), Li (2007), y recientemente, Carpenter et. al. (2015), entre otros.

1. Revisión de literatura

La presencia de asimetrías es el preámbulo a la aparición de la volatilidad en los índices accionarios de las diversas bolsas del mundo y ello deriva en factores de riesgo de contagio y nerviosismo en el mercado (Hernández, *et al.*, 2015). Existen estudios que documentan el comportamiento tanto del mercado financiero chino como del mercado financiero mexicano. Este comportamiento puede ser analizado mediante modelos autorregresivos de heteroscedasticidad condicional generalizados (GARCH, por sus siglas en inglés, Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity model); en la aplicación a las finanzas, dicha familia de modelos² intentan medir y pronosticar el impacto que tiene la varianza condicional en los rendimientos de índices de precios y otros activos financieros.

En cuanto a la investigación con respecto a los mercados financieros de China, Brooks y Raganathan (2003) encuentran la existencia de autocorrelación y correlación cruzada en los índices accionarios del mercado, sin embargo no encuentran indicios del efecto *spillover* o afectación de la volatilidad entre sus mercados de tipo “A” hacia “B” y viceversa. Sosa y Ortiz (2014) analizan la economía china con respecto a su grado de integración como integrante del grupo BRIC y la posibilidad de México por integrarse a este grupo; examinan asimismo, mediante modelos econométricos VAR y multifactorial, la relación entre variables macroeconómicas y el rendimiento bursátil para cuantificar su contribución al riesgo sistemático concluyendo que existe una segmentación parcial, y diferencias en el grado de sensibilidad de las variables macroeconómicas ante movimientos de las respectivas bolsas de valores. Sun *et al.* (1999) y Yang (2003) analizan las acciones A y B de los principales mercados de valores chinos encontrando mediante el método VAR y la correlación cruzada evidencia en la existencia de información asimétrica, segmentación del mercado y autocorrelación cruzada

² Los modelos pioneros fueron desarrollados por Engle (1982) y generalizados por Bollerslev (1986). Ahora nuevos métodos econométricos han sido introducidos a fin de estimar las varianzas condicionales de los precios y rendimientos de datos financieros. Para responder a las necesidades de la industria financiera y la administración de riesgos, han surgido nuevas metodologías cuyo diseño permite examinar las colas de distribución (aún no queda claro si las colas tienen la misma conducta dinámica que el resto de la distribución como podría asumirse en los modelos GARCH (Engle *et al.* 1995). Complementan la familia de modelos univariados GARCH sucesivos métodos tales como IGARCH, TGARCH, EGARCH, PARCH, CGARCH, FIGARCH, FIEGARCH, SWARCH, GJR-GARCH, NAGARCH y AGARCH, entre otros.

positiva. Song *et al.* (1998) utilizan el modelo GARCH-M para modelar las series de rendimiento de los mercados Shenzhen y Shangai para examinar la posible transmisión de volatilidad. Por último, Li (2007) analiza los vínculos entre los mercados bursátiles de China y Estados Unidos utilizando el modelo multivariado D-BEKK encontrando evidencia de una débil volatilidad unidireccional en los mercados de valores chinos de Shangai, Shenzhen y Hang Seng, lo cual beneficia a los inversionistas en la reducción del riesgo diversificado, generando oportunidades para la selección óptima de portafolios de inversión.

Por su parte, para el caso mexicano, López y Ortiz (2011) analizan los mercados financieros del TLCAN mediante la aplicación de modelos multivariados MV-GARCH y de correlación condicional dinámica (DCC) encontrando en primer lugar la presencia de una relación a largo plazo que tiende al ajuste en la dinámica cotidiana, en segundo lugar encuentran también efectos significativos de transmisión de volatilidad de los mercados norteamericano y canadiense hacia México; por último, observan un aumento de la correlación del mercado mexicano con sus contrapartes del bloque analizado. Ruiz y Ruiz (2015) analizan la hipótesis de mercados eficientes utilizando los modelos multivariados D-VECH, BEKK y CCC encontrando que este último modelo es el que mejor explica el comportamiento de la varianza condicional en el tiempo. Por último, Reyes y Ortiz (2013) proponen la metodología MVARCh (modelos multivariados GARCH y modelos de valor en riesgo, VaR) para analizar portafolios de inversión aplicados a series de rendimientos de precios accionarios del mercado TLCAN; encuentran que el modelo CCC explica de forma más eficiente los estimadores de pérdidas potenciales, siendo México el país que representa la mejor opción de inversión.

2. Aspectos metodológicos

A partir del modelo autorregresivo de heteroscedasticidad condicional (ARCH), trabajo seminal de Engle (1982), se ha dado pie al desarrollo de propuestas alternativas que contribuyen en la innovación de modelos y pronósticos de la volatilidad asociada a series de tiempo. La denominada familia de modelos ARCH ha demostrado que captura muchos de los comportamientos atípicos asociados a la volatilidad de rendimientos de los activos financieros como, por ejemplo: las distribuciones leptocúrticas, volatilidad agrupada —o clúster—, varianzas cambiantes en el tiempo, efectos *leverage* (correlación entre los rendimientos de un activo y cambios en su volatilidad futura),

persistencia y asimetrías en la volatilidad debido a grandes incrementos o caídas en el precio de un activo, entre muchas otras.³

Por su parte, los modelos multivariados GARCH poseen ventajas comparativas respecto de los modelos univariados en las finanzas, es decir, se pueden obtener estimadores óptimos para la construcción de las matrices de varianzas-covarianzas, aplicables a modelos de portafolios de inversión y permiten dimensionar también la movilidad conjunta de capitales, así como la interrelación existente de la volatilidad en los mercados financieros. Actualmente la integración de los mercados financieros ha permitido que los agentes participantes (inversionistas institucionales y privados) se vean beneficiados por efecto de la diversificación internacional a largo plazo. Sin embargo existen también problemas con los modelos GARCH multivariados, por ejemplo, la dimensionalidad, es decir, el número de parámetros tiende a crecer de forma exponencial en comparación con el número de variables existentes en el modelo, además de requerir que la matriz de varianzas-covarianzas sea definida positiva (López, *et al.* 2009). La aplicabilidad de estos modelos es entonces complicada y deja de ser atractiva para muchas investigaciones, ya que además de lo anterior puede sumarse el momento de elegir el modelo y asegurar que el método de estimación trae como resultado estimadores insesgados y consistentes (Galván y Cermeño, 2009).

Es importante realizar el análisis de la estructura que conforman los modelos GARCH multivariados y su desarrollo constante a través del tiempo, enfatizando que los nuevos modelos que emergen son propuestas para mejorar su sistema estructural y capturar de una forma más exacta el fenómeno de la volatilidad condicional. El fin primordial es realizar una descripción de tres modelos econométricos recientes, pertenecientes a la familia GARCH.

³ Los modelos de volatilidad fueron punta de lanza en el campo de las finanzas debido a que el inversionista tratará siempre de anticipar los movimientos en el riesgo y rendimiento de un instrumento de corto plazo. El análisis sobre la media y la varianza no condicional de una serie de rendimientos, responde a la acción de anticipar el comportamiento de uno o varios instrumentos del mercado financiero; tal comportamiento dependerá de los movimientos diarios de las bolsas bursátiles del mundo. Los modelos a analizar tienen su fundamento en la idea de que éstos se realizan con la media y varianza condicional simultáneamente, i.e., se propone un modelo autorregresivo (media condicional) y además se propone un mecanismo de control sobre la evolución de los errores (varianza condicional); finalmente, se busca incorporar los supuestos de que la volatilidad muestra altas y bajas en un periodo dado de tiempo (cuantificada por la desviación estándar condicional).

Los modelos sujetos a discusión son el modelo VECH diagonal (Diagonal Vector H, D-VECH), el modelo BEKK (acrónimo de sus autores Baba-Engle-Kraft-Kroner) y el modelo de Correlación Condicional Constante (Constant Conditional Correlation, CCC). El gran logro de estos modelos es el de permitir capturar regularidades empíricas como la dependencia de segundo orden (volatilidad *clustering*) y las colas pesadas (*fat tails*), que es característico de las series de rendimientos financieros.

3. El modelo VECH Diagonal

En el modelo VECH general (Bollerslev, *et. al.*, 1988), cada elemento de H_t es una función lineal de errores cuadrados rezagados y productos cruzados de los valores de los errores y rezagos de los elementos de H_t . El modelo es definido como:

$$h_t = c + A\eta_{t-1} + G h_{t-1} \quad (1)$$

donde

$$h_t = \text{VECH}(H_t) \quad (1.2)$$

$$\eta_{t-1} = \text{VECH}(\varepsilon_t \varepsilon_t') \quad (1.3)$$

$\text{VECH}(\cdot)$ es el operador que conjunta la porción triangular más baja de una matriz $N \times N$ como un vector $N(N+1)/2 \times 1$. A y G representan las matrices de parámetros cuadrados de orden $(N+1)/2$ y c es un vector de parámetros $(N+1)N/2 \times 1$.

Debido a la problemática que presenta este modelo, solamente aplicado en la práctica para el caso bivariado, Bollerslev et al. (1988) sugieren el modelo VECH diagonal (DVECH) en el cual las matrices A y G se asumen diagonales, y cada elemento h_{ijt} depende solamente de su rezago propio y del valor previo de ε_{it} o ε_{jt} .⁴

⁴ Para el modelo VECH, el número de parámetros es $N(N+1)(N(N+1)+1)/2$, mientras que en el modelo DVECH se tiene $N(N+5)/2$. Por ejemplo, si $N=3$, en el caso del modelo DVECH se tienen $N=78$ parámetros; en cambio, para el modelo VECH se tienen $N=12$ parámetros. Pero bajo este supuesto de diagonalidad, los sistemas de gran escala son aún fuertemente parametrizados y difíciles de estimar en la práctica (para mayores referencias, consúltese Bauwens, *et. al.*, (2006).

En particular, se definen las matrices NxN simétricas, A_0 , G_0 y C_0 , como las matrices implícitas por las relaciones $A = \text{diag}[\text{VECH}(A_0)]$,⁵ $G = \text{diag}[\text{VECH}(G_0)]$ y $c = \text{VECH}(C_0)$. El modelo diagonal puede escribirse así:

$$H_t = C_0 + A_0 \odot (\varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}') + G_0 \odot H_{t-1} \quad (2)$$

4. El modelo BEKK

Debido a la dificultad para garantizar la positividad de la matriz H_t en el modelo VEC, sin imponer fuertes restricciones sobre los parámetros, Engle y Kroner (1995) proponen una nueva parametrización para H_t que impone fácilmente su positividad, esto es, el modelo D-BEKK(1,1,K), el cual es definido como:

$$\varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}' A_k^* + \sum_{k=1}^K G_k^{*'} H_{t-1} G_k^* \quad (3)$$

$$H_t = C C' + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K A' \varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}' A_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^p G_{jk}' H_{t-j} G_{jk} \quad (4)$$

Donde C , A y G son matrices NxN pero C es triangular superior. El límite de la sumatoria K determina la generalidad del proceso. Los parámetros del modelo BEKK no representan directamente el impacto de los diferentes términos rezagados sobre los elementos de H_t , como el modelo VEC. El modelo BEKK es un caso especial del modelo VEC.⁶

Uno de los principales problemas al estimar un modelo VEC y un modelo BEKK es el alto número de parámetros desconocidos (incluso después de imponer varias restricciones). Por esta razón el uso de estos modelos se limita al análisis de un máximo de tres a cuatro series. Los modelos fac-

⁵ Si v es un vector de dimensión m entonces $\text{diag}(v)$ es la matriz diagonal $m \times m$ con v en la diagonal principal.

⁶ El número de parámetros en el modelo BEKK (1,1,1) es $N(5N+1)/2$. Para reducir este número, y consecuentemente reducir la generalidad, se puede imponer un modelo BEKK diagonal (DBEKK), esto es, A_k^* y G_k^* en (1) son matrices diagonales. Este modelo es también un modelo DVEC aunque es menos general, pero garantiza ser positivo definido mientras DVEC no lo hace.

toriales y ortogonales tratan de contrarrestar esta dificultad imponiendo una estructura dinámica común en todos los elementos de H_t , lo cual resulta en modelos con menos parámetros. Bollerslev (1990) propone una clase de modelo MGARCH en el cual las correlaciones condicionales son constantes y así las covarianzas condicionales son proporcionales al producto de las desviaciones estándar condicionales correspondientes. Esta restricción reduce enormemente el número de parámetros desconocidos y simplifica la estimación.

5. El modelo Correlación Condicional Constante (CCC)

El modelo CCC (Bollerslev, 1990) es definido como:

$$H_t = D_t R D_t = (\rho_{ij} \sqrt{h_{iit} h_{jtt}}) \quad (5)$$

donde:

$$D_t = \text{diag} \left(h_{iit}^{1/2} \dots h_{Nnt}^{1/2} \right) \quad (5.1)$$

h_{iit} puede ser definido como un modelo GARCH univariado, y $R = (\rho_{ij})$ es una matriz definida positiva simétrica $\rho_{ij} = 1 \forall i$. R es la matriz que contiene las correlaciones condicionales constantes ρ_{ij} .

Para llevar a cabo el análisis comparativo y tener criterios alternativos para la selección del mejor modelo descriptivo de las series cuando las matrices de varianzas y covarianzas son semidefinidas positivas y tener mayores bases para sostener la sugerencia de ciertos patrones de comportamiento dinámico de las series financieras analizadas, cabe resaltar que en todos los casos se utilizó el método de máxima verosimilitud (ML o bien, *Maximum Likelihood*) para las estimaciones de los modelos. Sin embargo, también se analizaron los estimadores de bondad de ajuste como el logaritmo de verosimilitud (*Log-Likelihood*) y el criterio de información Akaike (AIC).

6. Análisis empírico

El estudio empírico utiliza datos del periodo del 5 de enero de 2009 al 31 de diciembre de 2014, generando un total de 1 563 datos diarios hábiles. Se ha utilizado como fuente la base de datos de *Yahoo Finance*. Para calcular los datos perdidos por los días festivos u otros eventos de cierre de mercado, se utilizó la técnica de interpolación lineal del paquete estadístico SPSS. El análisis econométrico fue generado en EViews versión 8. El periodo de estudio fue seleccionado después de contemplar que no hubiese eventos o noticias que aceleren o cambien la tendencia de los mercados de una manera radical —*asimétrica*— de forma temporal (efectos *clustering* y *leverage*); tal es el ejemplo de la reciente crisis financiera de los años 2007-2008 que afectó de manera contundente a los mercados financieros con un fuerte impacto económico internacional. La razón por la cual se han seleccionado índices accionarios se debe a que son representativos en la literatura financiera del comportamiento cotidiano de los principales valores que participan en sus respectivas bolsas domésticas (Reyes y Ortiz, 2013). Los rendimientos de los índices fueron calculados mediante la obtención del cociente del logaritmo natural (\ln) del precio de cierre del día t (P_t) como numerador entre el precio del mismo rezagado un periodo (P_{t-1}), el resultado es finalmente multiplicado por cien para obtener el porcentaje de dichos rendimientos (ver ecuación 6).

$$P_t = \ln (P_t/P_{t-1}) * 100 \quad (6)$$

Las asimetrías existentes en el tamaño de las economías se reflejan en el tamaño relativo de los mercados bursátiles de China y México. Como es posible notar en la Tabla 1, al considerar la suma total de los tres mercados de China, el resultado representa una maquinaria competitiva con respecto a los mercados de economías desarrolladas, como Estados Unidos. Lo anterior contrasta a pesar de que las tasas de crecimiento de capitalización interna de México entre el periodo de 2009 a 2013 mostraran un incremento de casi cincuenta por ciento (49.42%) en comparación con la tasa de crecimiento de China, la cual mostró un incremento de 20% en el mismo periodo. Aunque es importante señalar que los dos rubros restantes de la Tabla; China muestra su claro potencial. Las cifras son contundentes: la tasa de crecimiento del PIB en China tuvo un incremento de 85.2% y la de México solamente la

Tabla 1. Características de los mercados de valores de China y México
(2009-2013)

PIB (millones de US dólares a precios actuales)					
País	2013	2012	2011	2010	2009
China	9,240.27	8,229.49	7,321.89	5,930.50	4,990.23
México	1,260.91	1,186.46	1,170.09	1,051.63	895.31
Capitalización interna de mercado (miles de millones de US dólares)					
Bolsa de valores					
México	526.02	525.06	408.69	454.35	352.05
Hong Kong	3,100.78	2,831.95	2,258.04	2,711.32	2,305.14
Shanghai	2,496.99	2,547.20	2,357.42	2,716.47	2,704.78
Shenzhen	1,452.15	1,150.17	1,054.69	1,311.37	868.37
Total China	7,049.92	6,529.32	5,670.14	6,739.16	5,878.30
Número de compañías listadas					
México	143	138	133	130	125
Hong Kong	1,643	1,553	1,496	1,496	1,319
Shanghai	953	953	931	931	870
Shenzhen	1,536	1,536	1,411	1,411	830
Total China	4,132	4,042	3,838	3,838	3,019

Fuente: Elaboración propia con datos de World Federation of Exchanges, Annual Report (años 2009 a 2014) y estadísticas on line del Banco Mundial, sitio web en <http://databank.bancomundial.org/>.

mitad, es decir 40.8%; en el segundo rubro, China mostró un incremento de 36.87% en el número de empresas listadas, en tanto que México sólo obtuvo un incremento del 14.40%.

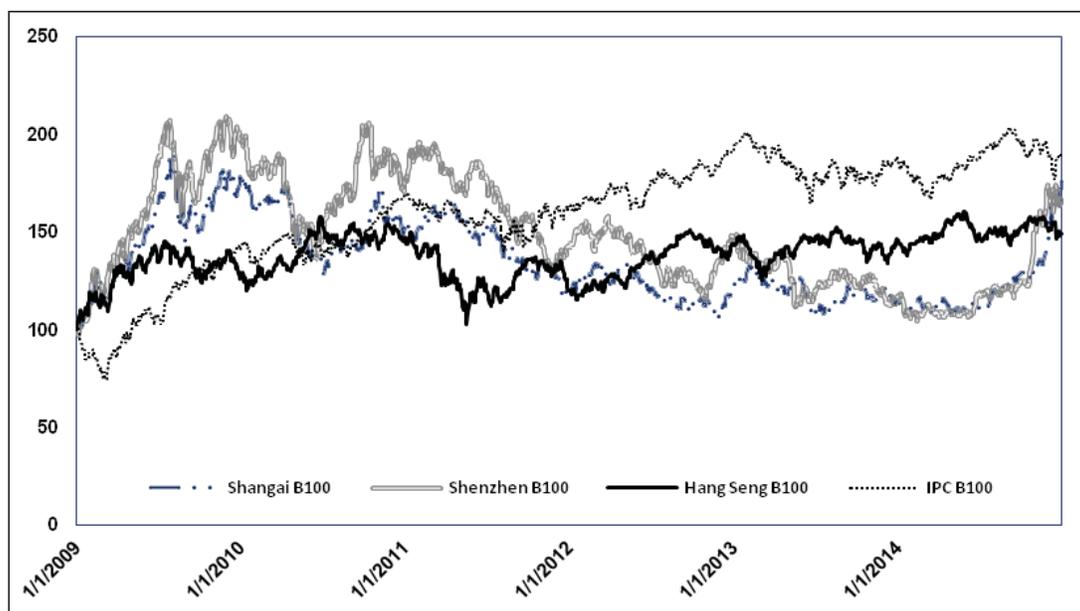
Analizado de manera individual, con respecto a la capitalización interna de mercado, para el año 2013 Hong Kong tuvo la mayor capitalización, seguido del mercado de valores de Shanghai y del mercado Shenzhen; México ocupa la última posición en este rubro. La capitalización de este mercado es \$3,100.78 miles de millones de US dólares en 2013. México en este año tuvo una capitalización de \$526.02 millones de dólares, es decir apenas representa el 17% de capitalización del mercado de Hong Kong, el 21% del

mercado de Shanghai y 36% del mercado Shenzhen (es decir, la capitalización del mercado mexicano sólo representó 7% del mercado financiero chino en conjunto durante el año 2013).

Cabe señalar el preocupante caso del reducido tamaño de empresas que opera en el mercado accionario mexicano. Ya se ha observado en investigaciones como Reyes y Ortiz (2013) así como en López *et al.* (2009) que el mercado bursátil mexicano sufre de una falta de profundización, debido a la escasa participación y monopolio de las empresas mexicanas en mercados accionarios. En cambio, China ha dado grandes pasos a partir de la década de los noventa gracias al establecimiento de mecanismos de apertura y liberalización a pesar de su régimen político. Este país ha mostrado un crecimiento del número de empresas participantes en el mercado del 36.9% durante el periodo 2009-2013 (aumentando de 3,019 a 4,132 empresas en suma total de sus tres mercados), mientras que México solamente creció 14.4%, pasando de 125 a 143 empresas.

El comportamiento de los principales índices financieros de mercados bursátiles de ambas economías se ve reflejado en la Figura 1. A fin de homologar las cifras de los cambios en el comportamiento diario del puntaje observado en cada uno de los índices analizados, y resaltar además la com-

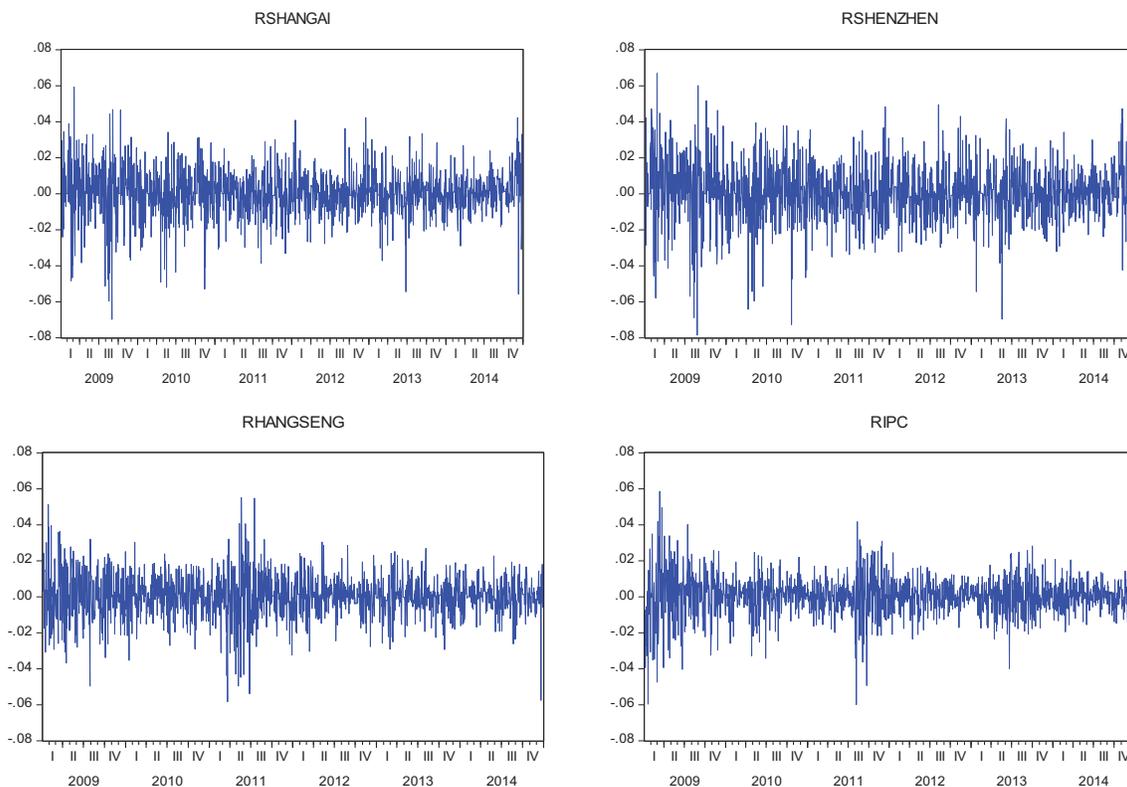
Figura 1. Comportamiento de los principales índices bursátiles de China y México (base 2009=100)



Fuente: Elaboración propia.

petencia directa de los mercados, se parte de la base común 2009=100. Es posible observar el repunte del índice del mercado bursátil mexicano a partir de 2012 hasta finales de 2014. Este intervalo con respecto al aumento del índice de precios y cotizaciones (IPC) le podría permitir al mercado mexicano tener la oportunidad aprovechar para competir y ser atractivo internacionalmente. Cabe señalar que México fue el único mercado que mostró una tasa de crecimiento positiva, en el crecimiento del índice, en comparación con los tres mercados bursátiles chinos, i.e., 41.7% entre 2009 y 2011 y 7.1% entre 2012 y 2014 (ver Apéndice A). Sin embargo, lo anterior debe acotarse frente a dos hechos; primero, la volatilidad existente en cada uno de estos mercados; y segundo, observar el grado de correlación entre los mismos. El análisis sugerido debe realizarse en base a los problemas que han exacerbado en las últimas décadas a raíz de la liberalización de los mercados financieros y su creciente integración como producto de la globalización financiera.

Figura 2. Evolución de los rendimientos sobre índices accionarios de China y México



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 muestra los patrones de cambio de los rendimientos de los cuatro mercados analizados en la presente investigación. En los cuatro casos se observa la presencia de volatilidad, la más alta se ubica en el índice chino Shenzhen. En términos anuales, la desviación estándar de este índice de precios fue de 1.56%, de 1.28% para el índice Shanghai, 1.18% para el índice Hangseng y de 1.069% para el índice de precios y cotizaciones mexicano. La dependencia del tiempo es una constante que se identifica en los cuatro índices y se exhiben clústers o agrupamientos de volatilidad. Los inversionistas deben considerar la heteroscedasticidad en los rendimientos que incluyen los índices de estos mercados al incorporarlos en sus portafolios de inversión a fin de evitar pérdidas potenciales que pongan en riesgo su dinero.

En lo referente a la correlación entre los mercados, la Tabla 2 muestra la presencia de un débil grado de asociación lineal entre las variables de estudio. Durante el periodo 2009 a 2014 los mercados accionarios chinos y el mexicano mostraron correlaciones positivas en su gran mayoría, aunque muy bajas. La correlación más alta corresponde al caso bilateral entre el índice de precios mexicano y el índice chino Shanghai (0.1828); la correlación más baja pertenece a la dupla de índices Shenzhen y Hang Seng (-0.036). Además del problema de heteroscedasticidad de los rendimientos, estos mercados se caracterizan por tener correlaciones con tendencia a cero. La reducción de oportunidades de optimización de los rendimientos de los activos de un portafolio —en este caso, utilizando índices accionarios— es una parte que describe el análisis de la Tabla 2.

Tabla 2. Correlación entre los rendimientos de índices bursátiles de México y China (2009-2014). Datos diarios

Índice	Shangai	Shenzhen	Hang Seng	IPC
Shangai	1.00000	0.00580	0.03737	0.18281
Shenzhen	0.00580	1.00000	-0.03674	0.04192
Hang Seng	0.03737	-0.03674	1.00000	0.00579
IPC	0.18281	0.04192	0.00579	1.00000

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 3 muestra las estadísticas básicas, cuyos resultados son concluyentes para fundamentar los hechos estilizados encontrados en series de tiempo financieras. Se aprecian diferencias en los promedios de los rendimientos y las desviaciones estándar de los tres índices pertenecientes a cada mercado (cabe aclarar que todos las series de índices financieros estudiados se miden —por homologación— en dólares de Estados Unidos, i.e., US dólares). Además, se puede apreciar que la inversión en el índice IPC presenta el riesgo más bajo (cuantificado por su desviación estándar), pero sus rendimientos (cuantificados por su media simple) son más altos que cualquiera de los demás mercados. El sesgo (coeficiente de asimetría) es negativo para el caso de los cuatro mercados, esto indica que las distribuciones respectivas presentan exceso de datos en la cola de distribución izquierda; por otra parte, la curtosis presenta casos mayores a tres, lo cual es indicativo de la presencia de distribuciones leptocúrticas, hecho muy común en datos de series financieras. La prueba de normalidad Jarque-Bera rechaza la hipótesis nula de normalidad, por lo cual en todos los casos se tienen distribuciones diferentes a la normal. Finalmente el ratio rendimiento-riesgo, obtenido del cociente entre ambos indicadores, muestra que el mercado mexicano presenta una mejor proporción (0.038%) lo cual es indicativo de que se podrían

Tabla 3. Propiedades estadísticas de la serie de los rendimientos (porcentajes)

	Shangai	Shenzhen	Hang Seng	IPC
Media	0.036045	0.031891	0.025637	0.040738
Mediana	0.024697	0.000000	0.013730	0.060912
Máximo	5.935871	6.685396	5.518693	5.862618
Mínimo	-6.982743	-7.855111	-5.827027	-5.985282
Desviación estándar	1.287224	1.567526	1.185719	1.069132
Coeficiente de asimetría	-0.397881	-0.308557	-0.225220	-0.279385
Curtosis	5.928758	5.451708	5.545309	6.680374
Jarque-Bera	600.2412	416.5259	435.4107	903.0389
Probabilidad	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Riesgo/rendimiento	0.028002	0.020345	0.021622	0.038103

Fuente: elaboración propia.

ofrecer mejores beneficios con una proporción de riesgo moderada. El mercado de Shanghai secunda esta proporción (0.028 por ciento), y los mercados Hang Seng y Shenzhen ocupan la tercera y cuarta posición (0.021 y 0.020 por ciento respectivamente), siendo el tercero el que presentó menores rendimientos y mayor riesgo ofrecido a los inversionistas durante el periodo de estudio.

El análisis de series de tiempo de cada una de las variables, se realizó en primer lugar para controlar los efectos de la autocorrelación llevando a cabo la selección de rezagos bajo el criterio de información de Schwarz especificando inicialmente cinco rezagos. A fin de comprobar si efectivamente dichas series son estacionarias se realizó la prueba de las raíces unitarias. La prueba Dickey y Fuller permite concluir que las series de estudio pueden ser estacionarias y es posible proceder a la estimación de los parámetros y modelación multivariada de las ecuaciones (2), (4) y (5).⁷ Finalmente, con el fin de evaluar la importancia de la estructura de volatilidad condicional multivariada se ha calculado la matriz de correlación cruzada entre los rendimientos, siendo reconocida la asociación lineal significativa en el periodo actual y rezagada un periodo; como lo han realizado Gallón y Gómez (2007). Dada la evidencia de dependencia temporal presente en cada una de las series de rendimientos se estimó un modelo VAR (vectores autoregresivos) para la media condicional, especificado como:

$$y_t = E(y_t | \mathfrak{S}_{t-1}) + \epsilon_t = v + \Phi_1 y_{t-1} + \Phi_2 y_{t-2} + \epsilon_t \quad (7)$$

donde:

$$\epsilon_t | \mathfrak{S}_{t-1} \sim N(0, H_t)$$

H_t : matriz de varianzas y covarianzas condicionales

v : vector N-dimensional de parámetros

Φ_i : matriz cuadrada de parámetros para $i=1,2$.

La selección óptima de longitud del rezago se basó en los criterios de información de Akaike (AIC) y Schwarz (SIC).

⁷ Por razones de espacio, solamente se presenta en el Apéndice B una tabla con la prueba ADF (Augmented Dickey-Fuller) en primera diferencia.

En la Tabla 4 se presenta el comparativo de los estimadores de bondad de ajuste (BA) para cada una de las estimaciones analizadas. La comparación de los valores absolutos de los estimadores muestra que el modelo CCC parece modelar la varianza condicional de una manera más eficiente, lo cual podría deberse a que la correlación de la volatilidad se asume como una constante descriptivamente estimada, obteniendo resultados más consistentes mediante la mejor bondad de ajuste, según los criterios a los que se someten las pruebas realizadas en cada modelo. Particularmente, el modelo multivariado T-Student con especificación TGARCH parece explicar de mejor forma el comportamiento heteroscedástico (varianza condicional) de las series ajustándose de manera más rápida y eficaz en el tiempo; es posible también que la distribución de densidad t de Student multivariada describa de mejor manera las perturbaciones. Se debe enfatizar que las restricciones impuestas por este modelo multivariado permite, entre otros beneficios: 1) disminuir el número de parámetros sujetos a estudio y asegurar que las varianzas condicionales estimadas sean positivas; 2) considerar los efectos de la volatilidad y de los choques de los otros mercados sobre la volatilidad condicionada de un mercado; 3) que la matriz de correlaciones pueda variar sobre el tiempo; y 4) capturar los efectos de la influencia de las varianzas rezagadas de los otros mercados del sistema.

Tabla 4. Comparativo de estimadores de bondad de ajuste para los modelos estimados

Criterio	Modelo	MODELO MULTIVARIADO NORMAL			MODELO MULTIVARIADO T-STUDENT		
		ARCH(1)	GARCH (1,1)	TARCH(1,1)	ARCH(1)	GARCH (1,1)	TARCH(1,1)
LM	DVECH	-9,818.23	-9,984.26	-9,830.37	-9,830.37	-9,904.77	-9,758.62
	DBEKK	-9,901.09	-9,963.20	-9,809.71	-9,809.71	-9,868.28	-9,754.69
	CCC	-9,823.05	-9,823.05	-9,711.67	-9,711.67	-9,779.68	-9,679.25
AIC	DVECH	12.61	12.79	12.60	12.60	12.70	12.52
	DBEKK	12.70	12.77	12.58	12.58	12.66	12.51
	CCC	12.60	12.61	12.46	12.46	12.56	12.43
Mejor Modelo (BA)	DVECH	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado un comparativo de modelos multivariados GARCH aplicado a series de rendimientos accionarios de los tres mercados bursátiles de China y el mercado bursátil de México durante el periodo 2009 a 2014. Se encontró evidencia de que existen asimetrías entre sus mercados de valores y que las correlaciones entre los cuatro mercados son tendientes a cero (i. e., existe una débil transmisión de volatilidad entre los mercados). Sin embargo, a pesar de las diferencias de desarrollo entre los tres mercados de China, en comparación con el escaso desarrollo del mercado mexicano, éste último ha mostrado tener mejores rendimientos y el menor nivel de riesgo durante el periodo de estudio, lo cual puede ser aprovechado para tener oportunidades de inversión, por ejemplo. Los resultados mostrados indican que el modelo CCC es el que mejor comportamiento y parsimonia demuestra en los activos financieros internacionales sujetos a estudio.

Por último, debe resaltarse que en la actualidad existen escasos o nulos estudios con respecto a la investigación de mercados financieros entre China y México. El estudio permite, también abrir temas de frontera para continuar con el desarrollo a profundidad respecto del análisis de dichos mercados; los resultados permitirán aportar nuevos avances en la aplicación de esta metodología en la industria financiera. Por ejemplo, la aplicación de nuevas metodologías permitiría nuevos patrones en la conducta de empresas que evitarían, al corto plazo, ignorar su verdadero nivel de riesgo y contar así con mayores opciones para determinar criterios en la toma de decisiones para asumir sus riesgos de mercado.

Referencias bibliográficas

- Anguiano, E. (2007). *Relaciones México-China en su perspectiva histórica, en China y México: implicaciones de una nueva relación*. Dussel, E., y Trápaga, Y., México, Nuestro Tiempo.
- Anguiano, E. y Rodríguez, M. T. (2011). *El sistema financiero de China: heterodoxia política*. Cuadernos de trabajo del CECHIMEX, México, UNAM, pp. 4-16.
- Bauwens, L., Laurent, S., Rombouts, J. V. K. (2006). "Multivariate GARCH Models: A Survey". *Journal of Applied Econometrics* 21, pp. 79-109.

- Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Econometrics* 31, pp. 307-327.
- Bollerslev, T., Engle, R. F., y Wooldridge (1988). "A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances". *Journal of Political Economy* 96 (1), pp. 116-131.
- Bollerslev, T. (1990). "Modelling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized ARCH Model". *The Review of Economics and Statistics* 72, pp. 498-505.
- Boyreau-Debray, G. y Wei, J. (2005). "Pitfalls of a State-Dominated Financial System: The Case of China, National Bureau of Economic Research". *Working Paper*, (11214).
- Brooks D., R. y Raganathan V. (2003). "Returns and Volatility on the Chinese Stock Markets". *Applied Financial Economics* 13, pp. 747-752.
- Carpenter, J., Lu, F. y Whitelaw, R. (2015). "The Real Value of China's Stock Market, National Bureau of Economic Research". *Working Papers* (20957).
- Engle, Robert (1982). "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of UK Inflation". *Econometrica* 50, pp. 987-1008.
- Engle, Robert y Kroner, K. (1995). "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH". *Econometric Theory* 2 (1), pp. 122-150.
- Galván, Á., y Cermeño, R. (2009). "Desempeño de estimadores alternativos en modelos GARCH bivariados con muestras finitas". *Documentos de trabajo* 469, México, CIDE.
- Gallón G., Santiago, P., Karoll (2007). "Distribución condicional de los retornos de la tasa de cambio colombiana: un ejercicio empírico a partir de modelos GARCH multivariados", Colombia, *Revista de Economía del Rosario* 10 (2:127).
- Gao, L. y Kling, G. (2006). "Regulatory Changes and Market Liquidity in Chinese Stock Markets". *Emerging Markets Review* (7), pp. 162-175.
- Hernández, A., López, H., y Hoyos R. (2015). "Análisis del efecto apalancamiento en los rendimientos del IPC mediante una Cadena de Markov Monte Carlo antes, durante y después de la crisis subprime". *Revista Estocástica, Finanzas y Riesgo* 5 (1), enero-junio, México, UAM-Azcapotzalco, pp. 43-64.
- Li, H. (2007). "International Linkages of the Chinese Stock Exchanges: A Multivariate GARCH Analysis". *Applied Financial Economics* 17, pp. 285-297.
- Lee, C. F. (2001). "Stock Returns and Volatility on China's Stock Markets". *The Journal of Financial Research* 24(4), pp. 523-543.
- López H. F. y Cabello, A. (2009). "Las interrelaciones de volatilidad y rendimientos entre los mercados de valores del TLCAN". *Investigación Económica* LXVIII (267), pp. 83-114.

- López H. F. y Ortiz C., E. (2011). "Vínculos de largo plazo y transmisión de volatilidades en los mercados de capital del TLCAN: análisis VECM-MVGARCH-DCC, en Avances recientes en valuación de activos y administración de riesgos (2)". México, Universidad Panamericana.
- Ma, X. (1996). "Capital Controls, Market Segmentation and Stock Prices: Evidence from the Chinese Stock Markets". *Pacific-Basin Finance Journal* (4), pp. 219-239.
- Reyes Z., F. J. y Ortiz C., E. (2013). "Modelos VaR-GARCH y portafolios de inversión trinacionales en los mercados accionarios del TLCAN". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, IMEF 8(2), pp. 129-155.
- Ruiz, A. y Ruiz, B. (2015). "La hipótesis de eficiencia y modelación de series bursátiles mexicanas: un análisis multivariado". *Economía Informa* (390), México, UNAM, pp. 28-57.
- Song, H., Liu, X. y Romilly, P. (1998). "Stock Returns and Volatility: an Empirical Study of Chinese Stock Markets". *International Review of Applied Economics* 12(1), pp. 129-139.
- Sosa C., M., y Ortiz C., E. (2014). "Riesgo sistemático y variables macroeconómicas: integración del grupo BRIC y su relevancia para México". *Administración de riesgos, Mercados bursátiles y estrategias competitivas* (5), México, UAM Azcapotzalco.
- Sun, Q., y Tong W. H. S. (1999). "The Effect of Market Segmentation on Stock Prices: the China Syndrome". *Journal of Banking & Finance* (24), pp. 1875-1902.
- Tsui, A. y Yu, Q. (1999). "Constant Conditional Correlation in a Bivariate GARCH Model: Evidence from the Stocks Markets of China". *Mathematics and Computer in Simulation* (48), pp. 503-509.
- Villalobos, A. (2007). "La relación comercial de México y China, en Oportunidades en la relación económica y comercial entre México y China". Naciones Unidas, CEPAL.
- World Federation of Exchanges* (varios números), Annual Report & Statistics.
- Yang, J. (2003). "Market Segmentation and Information Asymmetry in Chinese Stock Markets: A VAR Analysis". *The Finance Review* (38), pp. 591-609.

Apéndice A

Promedios de crecimiento de los índices bursátiles de los mercados financieros de México y China: 2009-2014 (anual)

	Promedio anual de crecimiento del índice bursátil (puntos base)						Tasas de crecimiento (%)	
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009/2011	2012/2014
Shangai	2,740.46	2,828.52	2,666.92	2,220.14	2,197.04	2,233.84	-2.7	0.6
Shenzhen	10,959.47	11,733.67	11,229.70	9,276.68	8,528.30	8,249.03	2.5	-11.1
Hang Seng	20,469.50	22,376.89	20,287.82	21,208.41	22,462.01	23,753.27	-0.9	12.0
IPC	25,354.39	33,323.97	35,915.60	39,747.02	41,968.72	42,586.85	41.7	7.1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice B

Pruebas ADF para series de rendimientos en diferencia de los mercados de México y China

Variable	Se incluye para el test de la ecuación	T-Statistic	Prob.
dshangai	intercepto	-28.59119	<0.01
	tendencia e intercepto	-28.58248	<0.01
	ninguna	-28.60040	<0.01
dshenzhen	intercepto	-29.57221	<0.01
	tendencia e intercepto	-29.56265	<0.01
	ninguna	-29.58172	<0.01
dhangseng	intercepto	-29.03482	<0.01
	tendencia e intercepto	-29.02533	<0.01
	ninguna	-29.04423	<0.01
dipc	intercepto	-28.18298	<0.01
	tendencia e intercepto	-28.17611	<0.01
	ninguna	-28.19118	<0.01

Cobertura dinámica de la reserva actuarial de una empresa con pasivos pensionales¹

Dynamic hedging of the actuarial reserve of a
firm with pension liabilities

Francisco Venegas-Martínez*

Gabriel Alberto Agudelo Torres**

Luis Ceferino Franco Arbeláez***

Luis Eduardo Franco Ceballos****

Fecha de recepción: 1 de agosto 2015

Fecha de aprobación: 21 de septiembre 2015

* Instituto Politécnico Nacional, México
fvenegas1111@yahoo.com.mx

** Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia
albertoagudelo@itm.edu.co

*** Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia
luisfranco@itm.edu.co

**** Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia
luisefranco@itm.edu.co

¹ Los autores agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de los árbitros.