

Mercado Integrado Latinoamericano (MILA): un análisis de integración financiera y volatilidades

Latin American Integrated Market (MILA): An Analysis of Financial Integration and Volatilities

Francisco Javier Reyes Zárate*

(Fecha de recepción: 9 de junio de 2016, Fecha de aceptación: 2 de agosto de 2016)

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el análisis de la volatilidad y su relación con la integración de los mercados bursátiles emergentes de las economías que representan el Mercado Integrado Latinoamericano (MILA). Para lograr lo anterior, se aplicaron modelos econométricos multivariados que presuponen ser más conservadores y precisos en la estimación de matrices de varianzas dinámicas para la detección de la volatilidad condicional. La participación de México ha permitido que este mercado evolucione de una manera más rápida, lo cual crea mejores oportunidades de desarrollo económico regional bajo el contexto de la globalización financiera. Se analizan los principales índices financieros representativos de estas economías. Los resultados obtenidos sugieren que se presenta el efecto contagio debido a la correlación parcial positiva entre los rendimientos, sin embargo las correlaciones cruzadas dinámicas obtenidas permiten considerar oportunidades de inversión, mejores y más atractivas en portafolios con activos de este mercado bajo la premisa de obtener rendimientos altos y riesgos mínimos, esto contribuye, entre otros aspectos, a una administración de riesgos eficiente mediante un mejor proceso de toma de decisiones.

Clasificación JEL: C3, C16, C51, G15.

Palabras clave: volatilidad, México, Perú, Colombia, Chile, modelos econométricos, modelo GARCH multivariado, MILA.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the volatility and its relation to the integration of emerging stock markets of the economies that represents the Latin American Integrated Market (Mercado Integrado Latinoamericano, MILA). Multivariate econometric models

* Posgrado de Economía, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
javierr@economia.unam.mx.

El autor agradece los comentarios y sugerencias de evaluadores anónimos.

are applied which assume greater conservatism and precision for estimating dynamic matrixes to detect conditional volatility variances. Mexico's participation has allowed this market to evolve more quickly, which creates better opportunities for regional economic development under the context of financial globalization. The main representative financial indexes of these economies are analyzed, the results obtained suggest the presence of contagion effect due to the positive partial correlation between returns, however the dynamic cross-correlations obtained make it possible to consider better investment opportunities in portfolios using this market's assets under the premise of high returns and minimum risks, this will contribute, among other things, to a more efficient financial risk management through a better decision making process.

JEL Classification: C3, C16, C51, G15.

Keywords: *volatility, Peru, Mexico, Colombia, Chile, econometric model, multivariate GARCH model, risk management, MILA.*

Introducción

Una premisa fundamental de los mercados financieros en la escala mundial es fungir como un medio facilitador de recursos entre los inversionistas, quienes buscan estos mercados para realizar estrategias de cobertura, de arbitraje o simplemente para obtener ganancias mediante la especulación. Por otra parte, los demandantes de estos mercados están conformados por todos aquellos agentes interesados en conseguir financiamiento y liquidez para hacer frente a proyectos y pasivos, entre otras actividades. Durante las últimas tres décadas la tendencia global se ha vertido sobre la integración de los mercados, especialmente en la integración de los mercados de capitales. Las ventajas de dicha integración vinculadas con el avance tecnológico¹ han permitido el desarrollo de los sectores financieros en los bancos y mercados, lo cual demuestra el mejoramiento de la competitividad debido a la disminución de barreras de entrada, liberalización de mercados, libre movilización de capitales y desregulación (Figuroa, 2014). Chee y Kim (2006) analizan el impacto de las regiones comerciales sobre la integración de los mercados accionarios encontrando efectos adversos en algunos bloques comerciales

¹ El avance tecnológico ha permitido la interconexión directa, rápida y eficiente entre mercados, unificando sistemas de liquidación y compensación de operaciones, haciendo mayormente eficiente tanto la negociación con servicios integrados como la relación entre los riesgos y los rendimientos de los portafolios de inversión internacionales (Ruiz, 2014).

cuando las economías no están desarrolladas completamente, esto conlleva a la existencia de regionalización (garantizando el agrupamiento de fuentes y recursos financieros), pero no necesariamente implica la globalización (o el desarrollo) de sus mercados financieros.²

La integración de las economías en un bloque regional también requiere de varias etapas y procesos a seguir durante su maduración. Las reformas requieren de modificaciones en los procesos legales como los convenios y acuerdos, así como una adecuada coordinación de las políticas monetaria y fiscal en cada economía implicada. En este contexto el mercado Integrado Latinoamericano (MILA) parte de un acuerdo en el año 2011 entre los mercados financieros de las economías emergentes de Chile, Colombia y Perú a fin de tener un mercado regional para negociar títulos de renta variable entre las tres economías y crear oportunidades para los inversionistas e intermediarios.³ En 2014, México es añadido a este mercado y a partir de este momento comienza una nueva etapa de desarrollo. A diferencia de otros tratados y acuerdos comerciales internacionales, este mercado es creado ex profeso con el fin de realizar transacciones financieras y bursátiles, lo cual podría aprovecharse para apuntalar este mercado como uno de los principales a nivel internacional.

Por otra parte, estadísticamente la correlación entre los rendimientos de activos financieros ha sido una parte importante en varios estudios de carácter financiero con diferentes enfoques con el objetivo de medir la existencia de parsimonia que satisfaga las restricciones de las matrices de correlaciones variantes en el tiempo (Ruey, 2006); uno de estos enfoques se realiza mediante el uso y aplicación de modelos econométricos multivariados GARCH.

En general, los modelos econométricos multivariantes generalizados autoregresivos heteroscedásticos (MGARCH) son utilizados para el análisis de asignación de precios y distribución de activos financieros, los cuales dependen de las covarianzas en el caso de portafolios de inversión y del vínculo de dicha distribución de activos con la proporción óptima de coberturas. Bollerslev *et. al.*, (1988), Tse y Tsui (2001) y de forma más reciente López y Ortiz (2011) así como Reyes y Ortiz (2013), entre otros autores, proveen

² Lo anterior implica que la restricción del financiamiento externo reduzca la eficiencia del precio del riesgo en los mercados emergentes debido a la baja liquidez del mercado.

³ Para mayores detalles, consúltese el sitio Web en <http://www.mercadomila.com/>

aplicaciones con ejemplos de los enfoques multivariados GARCH. Por su parte, los estudios de López *et. al.*, (2009), Reyes (2015) así como Ruiz y Ruiz (2015) evidencian que los modelos MGARCH han aportado interesantes hallazgos en el análisis de la matriz de correlación y la transmisión de la volatilidad en estudios de riesgo de contagio.

Según Santillán *et. al.*, (2016), la teoría de la integración de los mercados financieros se conceptualiza por conjuntar fenómenos como el incremento de empresas en múltiples mercados, oferta de servicios crediticios y transacciones financieras transfronterizas sin obstáculos así como la inversión en portafolios con diferentes activos internacionales; bajo esta teoría las oportunidades de arbitraje son escasas al considerarse los costos de transacción ya que existe una desmotivación en la inversión al no existir además barreras que regulen este problema.

El presente trabajo examina las series financieras de los principales índices bursátiles correspondientes a las bolsas de valores del MILA, a fin de obtener hallazgos relevantes en el estudio del fenómeno de la interdependencia entre economías con características similares en teoría, en este caso se trata de mercados emergentes latinoamericanos integrados dada la conducta volátil de sus mercados a raíz de la globalización financiera, para determinar si están presentes efectos tales como riesgos de contagio, así como la existencia de oportunidades para invertir en portafolios con activos de este mercado integrado. También se pretende sugerir una mejor toma de decisiones en la administración de riesgos.

La pregunta específica que se trata de contestar es: ¿existen oportunidades de inversión atractivas en el MILA de acuerdo a la codependencia de activos basada en la correlación parcial y la correlación cruzada dinámica de sus principales índices de precios? La hipótesis a trabajar proyecta a los modelos multivariados GARCH como aquellos que mejor capturan las interacciones de las volatilidades dinámicas entre los mercados debido a que son más conservadores y precisos, permitiendo que las estimaciones sean más eficientes y confiables. Se pretende demostrar que los modelos econométricos multivariados presuponen mayor conservadurismo y precisión para la estimación de matrices de varianzas dinámicas para la detección de la volatilidad condicional.

El método empleado consistió en analizar estadísticamente las series de tiempo de rendimiento bursátiles sujetas a estudio y determinar su tendencia mediante la prueba de raíces unitarias; posteriormente se estudiaron los efectos de la volatilidad condicional por medio del análisis de modelos

multivariados GARCH cuyo propósito de aplicación es analizar los co-movimientos en conjunto de las series de activos sujetas a estudio a través de las matrices de correlación dinámica y estimar simultáneamente las volatilidades variantes en el tiempo a fin de permitir, entre otras aplicaciones, un mejor cálculo de las medidas de riesgo financiero, así como la distribución y asignación de los activos financieros.

La estructura del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la primera sección se realiza la revisión de la literatura abarcando la actualidad de los mercados financieros integrados, así como la naturaleza de los modelos multivariados GARCH y su aplicación en otros mercados financieros; también se plantean los aspectos metodológicos de estos modelos y su contribución al desarrollo de la investigación en este campo. La segunda sección examina el aspecto teórico de cada modelo multivariado econométrico partiendo de sus características, y propiedades. En la tercera sección se realiza el análisis empírico mediante la comparación de los rendimientos de los índices bursátiles explicando su comportamiento, su volatilidad y sus asimetrías, considerando el estudio de la estadística descriptiva y los modelos expuestos, se determinó el desempeño que cada uno mostró. La última sección muestra las conclusiones finales.

1. Revisión de literatura

Durante la última década del milenio pasado en la academia comienzan a proliferar los estudios respecto a la presencia de asimetrías y volatilidad conjunta en instrumentos accionarios internacionales y que derivan en factores de riesgo de contagio en los mercados financieros internacionales al detectarse algunas regularidades empíricas en los patrones de tendencia de los co-movimientos de series financieras como causa de los principales efectos de la globalización financiera, entre ellos, el proceso heterogéneo de desregulación financiera en economías desarrolladas y emergentes.⁴ Destacan en este tema los trabajos de Alonso y Arcos (2006), López *et. al.*, (2009), López y Ortiz (2010), Sosa y Ortiz (2014) y Sosa y Cabello (2014).

⁴ Tal es el caso de la economía mexicana, cuyo impacto mediante la desregulación y apertura financiera ha sido complicado por ser mediático en un principio (inicio de la década de los noventa) y porque a la fecha no existe una conjunción entre el desarrollo del propio mercado financiero mexicano y su proceso de desregulación, los cuales deberían responder al mismo tiempo (Salinas y Tavera, 2013), esto, a pesar de que existan condiciones de estabilización económica en la mayoría de periodos en los cuales de desee medir la economía mexicana.

En la actualidad el análisis de las características de los mercados financieros es utilizado para su explotación mediante la aplicación de herramientas y métodos de última generación creados por la ingeniería financiera a fin de evaluar de manera más consistente todos aquellos instrumentos o productos financieros individualmente o en un portafolio de inversión. En cuanto a estudios referentes al mercado financiero MILA, la bibliografía es escasa e incompleta a decir de algunos estudios previos a la incorporación de México a este mercado, por este motivo es importante apuntar que el presente estudio intenta aportar elementos que permitan extender el debate en el campo de estudios en el tema de integración regional financiera y estudio de la volatilidad con respecto a las economías emergentes latinoamericanas que conforman el mercado.

Dentro de los estudios en este mercado, existen trabajos como el de Agudelo *et. al.* (2012), que estiman mediante modelos de datos de panel los costos de transacción asociados a la liquidez intra-día de acciones de los mercados del MILA, así como Argentina y Brasil encontrando evidencia de que existen diferencias agudas entre las economías de Chile, Colombia y Perú con respecto a los países de mayor capitalización como son las economías de Brasil, México y Argentina (lo que justifica la integración bursátil de las primeras tres economías para intentar ser competitivas), de tal manera que éstas últimas tienen menores costos de transacción asociados a la liquidez con la actividad bursátil y la volatilidad de los rendimientos accionarios. Romero *et. al.* (2013) analizan los rendimientos históricos de las series a fin de conocer si existe una posible integración financiera, determinando una serie de factores que conllevarán a la diversificación en portafolios de inversión.

Por su parte, Vargas y Bayardo (2013) estudian la integración de los mercados que generan algunos factores internos y externos del mercado concluyendo que existen beneficios si hay una expansión ordenada, contribución del gobierno y calidad en el manejo de información en los rubros contables, por ejemplo. Por último, Sandoval y Soto (2016) analizan mediante modelos econométricos de cointegración la existencia de una relación a largo plazo entre los mercados accionarios del MILA encontrando un resultado positivo que pudiera influir desfavorablemente el efecto diversificador sobre los beneficios de las carteras de inversión a consecuencia del efecto de contagio, aunque cabe destacar que el estudio solamente se hace para las economías de Chile, Colombia y Perú. Hasta el momento no se ha analizado a profundidad en este mercado el impacto de la volatilidad condicional dinámica y sus efectos como una posible oportunidad para la toma de decisiones

en cuanto a la factibilidad para invertir y administrar riesgos financieros en portafolios de inversión, coberturas y arbitraje, entre otras estrategias.

Existen además estudios con respecto de la volatilidad histórica y condicional simulados bajo diferentes escenarios. Para el caso de la aplicación de modelos multivariados GARCH, destaca uno de los primeros trabajos con el tema de modelos multivariantes: Karolyi (1995), analiza los mercados de las economías desarrolladas de Estados Unidos y Canadá, en donde examina la dependencia de corto plazo en los movimientos del precio de los activos de los mercados bursátiles de Toronto *Stock Exchange* y el New York *Stock Exchange* enfocándose en específico en la relación dinámica entre los rendimientos de los índices TSE 300 y el S&P 500. Ruey (2006) revisa los modelos multivariantes proponiendo un enfoque que cumple con los requisitos de parsimonia y satisface la restricción de la matriz de correlación variable en el tiempo como positiva definida aplicada al mercado cambiario internacional demostrando la eficacia de estos modelos que manejan los efectos de apalancamiento (*leverage effect*) y su parsimonia.

En trabajos más recientes, cabe señalar el interés académico por explicar los efectos de la volatilidad condicional en los mercados emergentes; Restrepo (2012), utiliza los modelos GARCH univariados y multivariados para aplicarlos en un portafolio de Valor en Riesgo (VaR) para el caso de rendimientos de acciones del mercado bursátil colombiano concluyendo que los modelos univariados (GARCH (p,q) y EGARCH) tiene un mejor desempeño para la estimación VaR del portafolio que los modelos multivariados GARCH aplicados (DVECH, BEKK y CCC). Reyes y Ortiz (2013), por su parte, parten de la metodología MVARCH incluyendo a los modelos multivariados y univariados GARCH para aplicarlos a portafolios VaR con ajustes de distribución a series de rendimientos de los principales índices bursátiles de los mercados que componen bloque del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte); encuentran que existe una fuerte correlación (positiva) entre estos mercados, con lo cual se pueden plantear estrategias de inversión aprovechando que el mercado mexicano fue la economía que, además de ser la única emergente, mostró el mejor desempeño en los portafolios de inversión que sus contrapartes desarrolladas asimismo el modelo multivariado CCC fue el que mejor capturó los co-movimientos que definen las matrices dinámicas diarias definidas (semi) positivas. Por otra parte, Ruiz y Ruiz (2015) analizan la hipótesis de eficiencia de los mercados utilizando los modelos multivariados GARCH con aplicación a series de rendimientos bursátiles mexicanos con tres hallazgos importantes: primero, que el mercado mexi-

cano es ineficiente en forma débil (coincidiendo con Hernández *et al.* (2015); segundo, que hubo una disminución en los mercados a partir de la crisis financiera que comienza en el año 2007; y tercero, los modelos multivariados basados en correlación condicional constante (CCC) son aquellos que mejor describen el comportamiento de los rendimientos. Por último, Reyes (2015) presenta un estudio basado en el análisis de rendimientos de los mercados bursátiles de China y de México aplicando los modelos multivariados GARCH (DVECH, BEKK y CCC), a los rendimientos de los principales índices financieros representativos de sus bolsas de valores; encuentra evidencia de que los mercados se encuentran débilmente asociados, o bien, con correlaciones bajas; además, otro hallazgo se centra en las asimetrías encontradas en los tres mercados chinos y el mercado bursátil mexicano comenzando con las tres bolsas con las que cuenta la economía china actualmente, lo cual es señal de una débil transmisión de volatilidad entre los cuatro mercados además de encontrar que el modelo multivariante CCC es el que mejor comportamiento tuvo para modelar las series financieras utilizadas en su trabajo.

En 1982 Robert F. Engle publicó el método auto-regresivo heteroscedástico (ARCH) aplicado a la tasa de inflación del Reino Unido, pero rápidamente este método tuvo una aplicación en los mercados financieros al ser generalizado por Bollerslev (1986). Los modelos pioneros fueron los GARCH univariados, del cual destaca el modelo GARCH (p,q), el cual tiene como fin examinar la volatilidad condicional de las series de rendimientos financieros a partir de sus rezagos. El manual técnico de *Riskmetrics* (J. P. Morgan, 1996), así como autores pioneros del tema como Jorion (1997) y Johnson (2000), destacan el modelo lineal GARCH como un modelo parsimonioso con capacidad de predecir la volatilidad, tomando en cuenta la caminata aleatoria y los procesos estocásticos observados en las series de rendimientos financieros (Angelidis *et al.*, 2006). Posteriormente el éxito de este modelo permite que otros autores innoven surgiendo así la “familia de modelos univariados GARCH”; entre los cuales destacan TGarch, IGarch, EGarch, Arch-M y una gran serie de modelos propuestos a lo largo del tiempo, Bollerslev, *et al.*, (1992).

Entrado el nuevo milenio, comienza una nueva etapa en la era de modelos GARCH, los cuales se han visto fortalecidos mediante el estudio conjunto de las series de datos implicadas. Las ventajas comparativas respecto de los modelos multivariados GARCH se basan en la posibilidad de obtener estimadores óptimos para construir matrices de varianzas-covarianzas aplicables a los portafolios de inversión y modelos de administración de riesgos; estos

modelos permiten dimensionar, además, la movilidad conjunta de capitales y la interrelación de la volatilidad existente en los mercados financieros, Galván y Cermeño (2009).

2. Proceso GARCH multivariante

La volatilidad de las series univariadas fue el foco de muchas investigaciones en cuanto al estudio de series de rendimientos financieros y administración de riesgos, actualmente ha adquirido gran relevancia la modelación de comovimientos de varias series, debido a que muestran dependencia temporal o contemporánea, observándose como componentes de un proceso de vector evaluado (multivariado). La especificación de los modelos GARCH no sugiere una extensión natural para el marco multivariado. Además, la expectativa (condicional) de un vector de tamaño m es un vector de tamaño m , pero la varianza (condicional) es una matriz $m \times m$ (Bauwens *et al.*, 2006).

En el modelo VECH general, 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

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

donde

$$\begin{aligned} h_t &= \text{vech}(H_t) \\ \eta_{t-1} &= \text{vech}(\varepsilon_t \varepsilon_t') \end{aligned} \quad (2)$$

$\text{vech}(\cdot)$ es el operador que vincula la parte triangular más baja de una matriz $N \times N$ como un vector $N(N+1)/2 \times 1$. En tanto que A y G son las matrices de parámetros cuadrados de orden $(N+1)/2$, con c como un vector de parámetros $(N+1)N/2 \times 1$.

Debido a la problemática de este modelo, solamente aplicado en la práctica para el caso bivariado, Bollerslev *et al.*, (1988) sugiere 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 propio rezago y del valor previo de ε_{ijt} .⁵ Para el modelo VECH, el número de parámetros es $N(N+1)(N(N+1)+1)/2$,

⁵ 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.

en tanto que en el modelo DVECH se tiene $N(N+5)/2$. Pero bajo el supuesto de diagonalidad, los sistemas de gran escala son aún fuertemente parametrizados y difíciles de estimar en la práctica, Bauwens, *et al.*, (2006), Anil, (2008), y Lundbergh y Teräsvirta, (2002).

En particular, se definen las matrices $N \times N$ simétricas, A_0 , G_0 y C_0 como las matrices implícitas por las relaciones $A = \text{diag}[\text{vech}(A_0)]$, $G = \text{diag}[\text{vech}(G_0)]$ y $c = \text{vech}(C_0)$.⁶ El modelo diagonal puede escribirse así:

$$H_t = C_0 + A_0 \odot \varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}' + G_0 \odot H_{t-1} \quad (3)$$

Donde los coeficientes de las matrices C_0 , A_0 , y G_0 son matrices simétricas $N \times N$, y el operador “ \odot ” es el producto del elemento por elemento (llamado producto Hadamard).⁷

Debido de la dificultad para garantizar la positividad de la matriz H_t en el modelo VECH sin imponer fuertes restricciones sobre los parámetros,⁸ 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

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

⁶ Si v es un vector de dimensión n entonces $\text{diag}(v)$ es la matriz diagonal $n \times n$ con v en la diagonal principal.

⁷ Supongamos dos matrices con las mismas dimensiones, tenemos el producto Hadamard, generalizado para la resolución de matrices como de operadores. El producto Hadamard de dos matrices A_0 , y G_0 $|_{N \times N}$, denotada como $A_0 \cdot G_0$ es la matriz $N \times N$ dada $A \cdot G_{ij} |_{N \times N} = a_{ij} g_{ij}$.

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} e & f \\ g & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (ae) & (bf) \\ (cg) & (dh) \end{bmatrix}$$

Nótese que el producto Hadamard es una submatriz del producto de Kronecker, en el cual, el resultado de las transformaciones lineales no multiplicativas, $A \otimes B$, es el producto tensorial $V_1 \rightarrow W_1$ y $V_2 \rightarrow W_2$.

⁸ Gourieoux (op. cit.) proporciona suficientes condiciones para la positividad de H_t . Estas condiciones son obtenidas escribiendo el modelo para la matriz H_t por sí misma en lugar de su versión vectorizada.

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

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 VECH. El modelo BEKK es un caso especial del modelo VECH.⁹

Uno de los principales problemas al estimar un modelo VECH 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 factoriales 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 simplificar así la estimación. El modelo CCC es definido como:

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

Donde

$$D_t = \text{diag}(h_{11t}^{\frac{1}{2}} \dots h_{NNt}^{\frac{1}{2}}) \quad (6)$$

h_{iit} puede ser definido como un modelo GARCH univariado.

⁹ En el modelo BEKK(1,1,1) el número de parámetros es $N(5N+1)/2$. Tanto para reducir este número, y en consecuencia reducir la generalidad, es posible imponer un modelo BEKK diagonal (DVECH), esto es, A_k^* y G_k^* y en la ecuación (4) son matrices diagonales. Este modelo es también un modelo DVECH aunque es menos general, pero garantiza ser positivo definido mientras DVECH no lo hace.

3. Análisis empírico

El estudio empírico abarca un periodo del 2 de enero de 2007 al 30 de diciembre de 2015 con un total de 2,347 datos diarios por cada serie. Los datos fueron obtenidos de *Financial Yahoo!* y *The Wall Street Journal*.¹⁰ Las bases de datos fueron tratadas en la hoja electrónica Excel 2013. El cálculo de los datos perdidos (*missing values*) fue computado con el paquete estadístico SPSS versión 17. El análisis econométrico para la construcción de modelos fue realizado en el paquete EViews 9. El periodo de estudio seleccionado cubre el caso de la crisis financiera conocida como la Gran Recesión, que comienza con el impacto en la economía mundial debido principalmente a los efectos del colapso de la burbuja inmobiliaria en los Estados Unidos conocida por los analistas como la crisis *subprime* (2008-2009) al cual se añadió un problema de crisis alimentaria. A partir de 2008 los efectos de la crisis energética comienzan a gestarse llegando a crecer debido al incremento en los precios en el suministro de fuentes energéticas, lo cual se ve reflejado principalmente entre el periodo 2012-2015.

Los índices financieros son un instrumento informativo para la ejecución de acciones eficaces (González, 1975), y representan el comportamiento general de los precios de los instrumentos financieros que se cotizan en cada bolsa,¹¹ por esta razón los índices financieros son fieles representantes de la literatura financiera. Los rendimientos de precios r_i fueron obtenidos mediante la aplicación del logaritmo natural (\ln) de los precios en el presente P_{t-1} con respecto a sus precios anteriores, P_{t-1} , y multiplicado por cien para obtener los rendimientos porcentuales (ver ecuación 7).

$$r_i = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \cdot 100 \quad (7)$$

En la Tabla 1 se presentan datos anuales del periodo 2007-2015 sobre el producto interno bruto, la capitalización interna de mercado (medida en miles de millones de US dólares) y el número de compañías listadas en los mercados bursátiles de las cuatro economías integrantes del MILA. Como variable macroeconómica el producto interno bruto (PIB) refleja la riqueza

¹⁰ Los sitios Web son <http://mx.finance.yahoo.com> y <http://markets.wsj.com/us>.

¹¹ Se consideran acciones, bonos, derivados, títulos referenciados a acciones (TRAC's), Exchange Traded Funds (ETF's), entre otros instrumentos financieros.

de las economías a través de sus agregados económicos. Durante el periodo de estudio de 2007 a 2014 el PIB total de economías pertenecientes a este mercado integrado corresponde a US \$15,854,690 miles de millones de dólares (mmd). Es notable cómo la economía mexicana representa el 63% del mercado integrado (US\$9,960,301), seguido por la economía colombiana con 16% (US \$2,597,707 mmd); en cambio la economía chilena tiene una contribución del 12% (1,947,673 mmd), y por último la participación de la economía peruana aporta solamente el 9% de la riqueza del bloque comercial (US \$1,349,009 mmd).

La consecuencia de incluir a México en este mercado ha sido una excelente estrategia para las economías latinoamericanas emergentes, ya que este mercado representa un potencial económico y financiero solamente superado por Brasil, cuyo PIB representa en este periodo US\$18,034,083, según cifras del Banco Mundial.¹² Lo anterior dimensiona el tamaño del MILA antes y después de la entrada de México al mismo: antes del ingreso de México (2013), el total del PIB de las tres economías sudamericanas representaba solamente el 35% del total del PIB de Brasil; después del ingreso de la economía mexicana a este mercado, la suma de los cuatro mercados en cuanto su PIB representaba en 2014 el 88% del PIB brasileño.

En cuanto a la capitalización de mercado que aportan estas economías, México aporta US\$48,884,794 mmd, lo cual representa el 48% del promedio total del Mercado integrado durante 2007 a 2015 seguido por Chile, con US\$ 28,496,338 mmd, que representa el 28% del total; en tanto, Colombia y Perú en conjunto suman US\$ 26,336,667 mmd, esto es, solamente el 25% del total del mercado. Visto de otra forma, la brecha en el diferencial de la riqueza económica entre Chile, Colombia y Perú contra Brasil es de US\$5,894,389 mmd, lo que representa 33% de la riqueza de Brasil (un tercio del producto brasileño); en cambio, sumando a México al MILA, esta brecha se reduce al representarse en el MILA, 88% del total de la riqueza brasileña.

La última sección de la tabla muestra el número de compañías listadas en cada una de las bolsas de valores de este mercado. Cabe resaltar que existen algunas diferencias que se pueden observar en cuanto al movimiento de las compañías que se integran a cada uno de estos mercados, por ejemplo, la bolsa chilena promedió durante este periodo un total de 259 compañías

¹² Para complementar el entendimiento de la tabla 1, los apéndices A1 y A2 se presentan las tablas con respecto a las proporciones del PIB y la capitalización interna para el MILA durante el periodo (2007-2015).

Tabla 1. Características del Mercado Integrado de Latinoamérica (MILA). 2007-2015. Anual.
 Producto interno bruto (miles de millones de US dólares a precios corrientes)

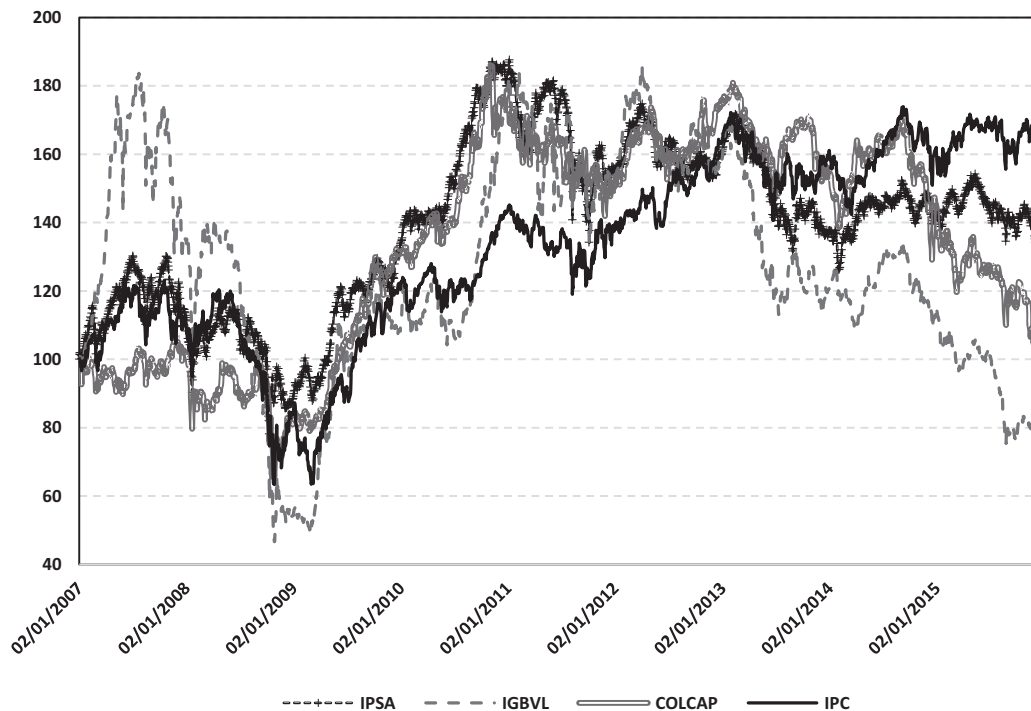
País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Chile	173,081	179,627	171,957	217,538	250,832	265,232	276,674	258,062	n.d.
Colombia	207,416	243,982	233,822	287,018	335,415	369,660	380,063	377,740	n.d.
Perú	102,171	121,572	121,192	148,522	170,564	192,680	201,848	202,596	n.d.
México	1,043,124	1,101,275	893,369	1,049,925	1,169,362	1,184,500	1,258,774	1,294,690	n.d.
Total	1,525,793	1,646,457	1,420,340	1,703,004	1,926,174	2,012,071	2,117,359	2,133,087	n.d.
N.d.: No disponible									
Capitalización interna de mercado (miles de millones de US dólares a precios corrientes)									
Mercado bursátil									
Bolsa de Comercio de Santiago	245,938	226,879	223,641	330,358	369,316	363,858	357,546	297,322	256,368
Bolsa de Valores de Colombia	85,190	128,434	135,559	212,857	246,122	290,970	271,430	230,471	135,305
Bolsa de Valores de Lima	72,506	69,966	66,359	94,051	104,471	112,124	104,674	94,335	80,154
Bolsa Mexicana de Valores	474,959	428,862	323,892	458,421	526,392	562,007	625,532	618,101	539,347
Total	878,593	854,141	749,451	1,095,688	1,246,301	1,328,959	1,359,181	1,240,227	1,011,174
Número de compañías listadas									
Mercado bursátil									
Bolsa de Comercio de Santiago	241	238	236	231	233	245	306	307	310
Bolsa de Valores de Colombia	90	89	87	86	83	82	78	74	73
Bolsa de Valores de Lima	226	244	241	248	254	277	271	263	310
Bolsa Mexicana de Valores	129	130	130	135	133	136	143	147	143
Total	686	701	694	700	703	740	798	791	836

Fuente: Elaboración propia con datos de World Federation of Exchanges y el Banco Mundial, World Development Indicators.

listadas en su mercado; la bolsa peruana promedió un total de 256 compañías, la bolsa mexicana un promedio total de 136 compañías, y por último la bolsa colombiana solamente contabilizó en promedio 84 compañías. La representatividad o proporción de las compañías listadas en cada bolsa puede ser un factor común clave para el desarrollo de los mercados, pero cuando existen casos como el de la bolsa colombiana y la mexicana en donde existen pocas empresas que cotizan, entonces deben existir fenómenos que impidan el crecimiento (y mayor avance) en los mercados financieros. En el caso de la economía mexicana, existen grandes monopolios que imponen barreras de entrada a las compañías más pequeñas para ingresar a la bolsa de valores (López *et al.*, 2009).

En la Figura 1 se muestra el desempeño de los principales índices de los mercados bursátiles del MILA utilizando una base para homologación de las variables principales con el objeto de representar de forma más clara los diferentes movimientos de cada índice (la base es 2007=100). Se encuentran como hallazgos principales que los mercados peruano y mexicano sufrieron cambios con efectos contrarios, esto es, el mercado peruano muestra a prin-

Figura 1. Comportamiento de los principales índices bursátiles de los mercados del MILA (2007-2015). Base 2007=100



Fuente: Elaboración propia.

cipios de 2007 un repunte con respecto a los demás mercados, sin embargo, después del periodo de crisis este mercado cae dramáticamente al finalizar 2015 llegando incluso a tener un promedio negativo de rendimientos durante este periodo, como ya se analizará más adelante.

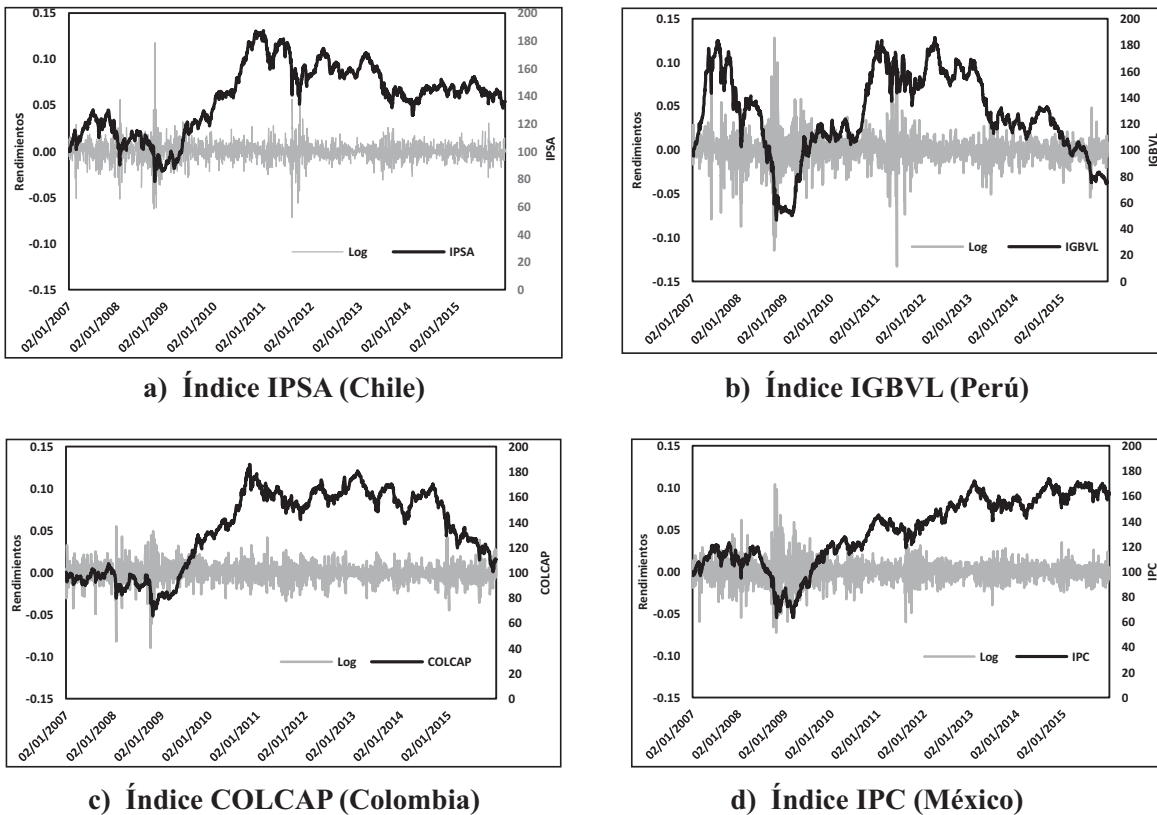
Por el contrario, en el caso de México podemos notar un desempeño similar en promedio con los demás mercados a principios de 2007 y con un comportamiento competitivo hasta la mitad del año 2010 y la mitad del año 2012, en donde el mercado mexicano presenta el menor desempeño, pero al finalizar 2014 el índice mexicano comienza a repuntar mostrándose sólido y con un nivel de desempeño constante a la alza hacia finales de 2015, ubicándose como el mercado mejor comportado de los cuatro sujetos a estudio como también lo revela el promedio de sus rendimientos positivos mostrados en la tabla 3.

El caso del desempeño de los mercados colombiano y chileno, es similar al mexicano. También representan casos similares al mexicano. Por una parte, es posible notar que el desempeño del mercado colombiano presentó tendencias similares a sus socios comerciales, pero a finales de 2014 comienza a descender quedando solamente por encima del mercado peruano. Pese al periodo de crisis, el mercado chileno de 2007 a 2011, es el mercado más competitivo del MILA porque mantuvo su nivel durante 2012. A pesar de caer por debajo del mercado peruano y mexicano entre 2013 y 2014, se recuperó hacia finales de 2014, llegando a estar solamente por debajo del rendimiento del mercado mexicano.

La Figura 2 muestra la evolución de los rendimientos y se compara con el desempeño de cada mercado por niveles (i.e., conservando la base 2007=100), pero desagregando la información para cada uno de ellos. El lado izquierdo de la abscisa representa la escala de los rendimientos de cada índice y el lado derecho representa la base en niveles. En cada uno de los paneles se puede apreciar con mayor claridad el efecto clúster (agrupamiento) común en las series financieras: a periodos de volatilidad alta le siguen periodos de volatilidad baja.

En el panel a) el índice IPSA muestra una conducta estable entre el periodo de estudio, por ejemplo podemos apreciar la existencia del periodo de mayor volatilidad entre 2008-2009, sin embargo se observa una recuperación entre el periodo 2010-2012 y culmina con un ajuste tendiente a un equilibrio entre el periodo 2013-2015. Se puede apreciar en el panel b) que la economía peruana muestra una serie de irregularidades que causan mayor volatilidad en el comportamiento de su mercado bursátil, esto

Figura 2. Evolución de los rendimientos sobre índices accionarios de los mercados integrantes del MILA (2007-2015)



Fuente: Elaboración propia.

significa que durante este tiempo el mercado peruano mostró una mayor volatilidad en su mercado, sobre todo en los años 2009 a 2010 con una recuperación entre el periodo 2011-2013 y observando una caída fuerte entre 2013 y 2015. El panel c) nos muestra al comportamiento del mercado colombiano, cuyo desempeño fue muy parecido a su contraparte chileno, sin embargo el periodo 2013-2015 presentó una caída mayor a la este último mercado. En cambio, para el caso de México en el panel d) se aprecia un periodo de turbulencia, en 2009, sin embargo los episodios de volatilidad son menos frágiles e, inclusive, comienzan a observarse incrementos constantes a partir de la segunda mitad de 2010, manteniéndose un crecimiento sostenido.

La Tabla 2 muestra las matrices de correlación parcial de Pearson que son uno de los principales indicadores que muestran el grado de dependencia entre los mercados, en este caso, las matrices correlacionan positivamente

Tabla 2. Matrices de correlación entre los rendimientos de índices bursátiles del MILA (2007-2015)

2007-2015					2011				
	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA		RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1				RIGBVL	1			
RCOLCAP	0.463497	1			RCOLCAP	0.319629	1		
RIPC	0.496054	0.474578	1		RIPC	0.440364	0.501819	1	
RIPSA	0.490476	0.455725	0.581812	1	RIPSA	0.413014	0.530258	0.656931	1
2007					2012				
	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA		RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1				RIGBVL	1			
RCOLCAP	0.411598	1			RCOLCAP	0.463497	1		
RIPC	0.396349	0.371327	1		RIPC	0.496054	0.474578	1	
RIPSA	0.450183	0.366197	0.668206	1	RIPSA	0.490476	0.455725	0.581812	1
2008					2013				
	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA		RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1				RIGBVL	1			
RCOLCAP	0.685495	1			RCOLCAP	0.287883	1		
RIPC	0.596327	0.597761	1		RIPC	0.282555	0.267377	1	
RIPSA	0.650494	0.606775	0.685682	1	RIPSA	0.338083	0.292677	0.450947	1
2009					2014				
	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA		RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1				RIGBVL	1			
RCOLCAP	0.420902	1			RCOLCAP	0.173090	1		
RIPC	0.574402	0.501232	1		RIPC	0.224594	0.440487	1	
RIPSA	0.532566	0.443017	0.644254	1	RIPSA	0.221721	0.460131	0.424129	1
2010					2015				
	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA		RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1				RIGBVL	1			
RCOLCAP	0.400443	1			RCOLCAP	0.455917	1		
RIPC	0.609666	0.392781	1		RIPC	0.401315	0.498946	1	
RIPSA	0.438567	0.388783	0.511147	1	RIPSA	0.133232	0.181410	0.013954	1

los rendimientos de los principales índices accionarios representativos de cada bolsa de valores.

Se presenta una matriz general “total” cuyo periodo abarca datos diarios desde el 2 de enero de 2007 hasta el 30 de diciembre de 2015. En el caso de esta tabla, se encontró que, en promedio, los rendimientos están correlacionados positivamente en cincuenta por ciento. Para las matrices anuales, que también se presentan en esta tabla, los movimientos son muy aproximados por encima y por debajo de la media de la “matriz total”, resaltando el caso de 2009 —año en que la crisis financiera y económica total repercutió en las economías mundiales—, cuyas cifras estuvieron por encima de dicho promedio y en los años 2013 y 2014 con matrices por debajo de este promedio (consúltese el apéndice A1).

Lo anterior es un claro indicativo de que los mercados estudiados son dependientes al verse afectados en la misma dirección, esto es, los mercados son propensos al riesgo de contagio, que es ocasionado por los efectos de integrar estas economías en bloques regionales con sus subsecuentes efectos de repercusión causados por los episodios de volatilidad a los cuales están expuestos (López, 2010 y 2011). En este apartado se debe subrayar el hecho de que los mercados emergentes tienen como una de sus características

Tabla 3. Propiedades estadísticas de los rendimientos de los índices bursátiles del mercado MILA (2007-2015)

	IGBVL	COLCAP	IPC	IPSA
Media	-0.011890	0.004245	0.020382	0.013192
Mediana	0.018129	0.006894	0.056955	0.037342
Máximo	12.82	5.53	10.44	11.80
Mínimo	-13.291	-8.924	-7.266	-7.173
Desv. Estándar	1.602	1.058	1.255	1.054
Asimetría	-0.4670	-0.5727	0.1010	0.0723
Curtosis	13.29	9.90	10.48	14.52
Jarque-Bera	10,429.2	4,786.1	5,475.2	12,977.1
Probabilidad	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Rel. Riesgo-rendimiento	1.1%	0.7%	4.5%	3.5%

Fuente: Elaboración propia

principales la dualidad de corto plazo, que en el lenguaje de las carteras de inversión implica una relación riesgo-rendimiento atractiva, pero a la vez inestable, i.e., los mercados son altamente frágiles en comparación con los mercados desarrollados.

En la Tabla 3 se presentan las propiedades estadísticas descriptivas mostradas de los rendimientos diarios analizados durante el periodo de estudio con respecto a los índices accionarios de las economías emergentes del MILA. Los cuatro momentos estadísticos, en resumen, presentan algunos hechos estilizados encontrados en las series de tiempo financieras y corroborados por la prueba de normalidad Jarque-Bera: ninguna distribución sujeta a estudio coincide con las características de una distribución normal, fundamento básico para considerar un estudio paralelo temático al ajuste de distribuciones para la obtención de parámetros de riesgo y rendimiento para portafolios de inversión y modelos riesgo, al respecto Reyes y Ortiz (2013) realizaron un estudio de aplicación de ajustes distributivos.

Se puede apreciar que el mercado mexicano representa la economía que mayores rendimientos en promedio ofrece a los inversionistas en su bolsa de valores (0.020 por ciento) seguido de la economía chilena (0.013 por ciento) y la colombiana (0.004 por ciento); el caso del mercado peruano muestra rendimientos negativos (-0.011 por ciento) debido al desempeño mostrado en los últimos años como ha visto en las dos figuras anteriores, haciendo de este el mercado menos atractivo y competitivo para un inversionista si se analiza desde una perspectiva individual. También se puede apreciar el mismo mercado peruano mostró mayores riesgos medidos por su desviación estándar natural (1.60 por ciento) seguido del mercado mexicano (1.25 por ciento); en cambio, los mercados colombiano y chileno mostraron los niveles de riesgo más bajos (1.05 por ciento en ambos casos). La asimetría presenta sesgo negativo para el caso de los mercados peruano y colombiano en contraparte con el sesgo a la derecha de los mercados mexicano y chileno. La curtosis demuestra en todos los casos que las distribuciones de cada serie son leptocúrticas. Finalmente, el coeficiente de riesgo-rendimiento, cuantificado por el cociente entre estas dos variables (promedio del rendimiento/desviación estándar de mismo) muestra un coeficiente favorable al mercado mexicano, seguido por los rendimientos del mercado chileno; los mercados de Perú y de Colombia mostraron resultados por debajo del promedio general del coeficiente riesgo-rendimiento proporcional o “coeficiente MILA” (2.5 por ciento).

Tabla 4. Pruebas ADF para series de rendimientos en diferencia de las economías pertenecientes al MILA

Variable: COLCAP				Variable: IGBVL			
	Prueba: ADF	T-Statistic	Prob.		Prueba: ADF	T-Statistic	Prob.
Nivel	Intercepto	-1.35	0.60690	Nivel	Intercepto	-1.63	0.46890
1ra. dif.	Intercepto	-20.82	0.00000	1ra. dif.	Intercepto	-18.11	0.00000
2a. dif.	Intercepto	-20.82	0.00000	2a. dif.	Intercepto	-32.46	0.00000
Nivel	Tendencia e intercepto	-0.38	0.98810	Nivel	Tendencia e intercepto	-1.72	0.74360
1ra. dif.	Tendencia e intercepto	-20.89	0.00000	1ra. dif.	Tendencia e intercepto	-18.16	0.00000
2a. dif.	Tendencia e intercepto	-32.94	0.00000	2a. dif.	Tendencia e intercepto	-32.45	0.00000
Nivel	Ninguno	-0.05	0.66750	Nivel	Ninguno	-0.55	0.47840
1ra. dif.	Ninguno	-20.83	0.00000	1ra. dif.	Ninguno	-18.12	0.00000
2a. dif.	Ninguno	-32.96	0.00000	2a. dif.	Ninguno	-32.47	0.00000

Variable: IPSA				Variable: IPC			
	Prueba: ADF	T-Statistic	Prob.		Prueba: ADF	T-Statistic	Prob.
Nivel	Intercepto	-1.88	0.34420	Nivel	Intercepto	-1.36	0.60350
1ra. dif.	Intercepto	-20.85	0.00000	1ra. dif.	Intercepto	-21.29	0.00000
2a. dif.	Intercepto	-33.56	0.00000	2a. dif.	Intercepto	-33.84	0.00000
Nivel	Tendencia e intercepto	-1.55	0.81090	Nivel	Tendencia e intercepto	-2.43	0.36440
1ra. dif.	Tendencia e intercepto	-20.88	0.00000	1ra. dif.	Tendencia e intercepto	-21.29	0.00000
2a. dif.	Tendencia e intercepto	-33.55	0.00000	2a. dif.	Tendencia e intercepto	-33.83	0.00000
Nivel	Ninguno	0.19	0.73990	Nivel	Ninguno	0.71	0.86800
1ra. dif.	Ninguno	-20.84	0.00000	1ra. dif.	Ninguno	-21.27	0.00000
2a. dif.	Ninguno	-33.56	0.00000	2a. dif.	Ninguno	-33.85	0.00000

Fuente: Elaboración propia. (ADF): prueba Dickey-Fuller aumentada

Con el fin de tomar control sobre los efectos de la autocorrelación como fase previa al desarrollo de los modelos multivariados GARCH, se realizó el análisis de las series de tiempo considerando el número de cinco rezagos según el criterio de información de Schwarz. Para validar la estacionariedad de las series al logaritmo de las series de rendimientos de los índices bursátiles seleccionados se realizó la prueba de raíces unitarias mediante la prueba Dickey-Fuller Aumentada(ADF). En la Tabla 4 se presentan las pruebas mencionadas para cada serie. Cada una muestra que son integradas de orden uno y por tanto tienen condiciones de estacionariedad, es decir, son candidatas a realizar la estimación de los parámetros y la modelación multivariada (ecuaciones 3, 4 y 5).

Para realizar una evaluación sobre la estructura de la volatilidad condicional multivariada se obtienen las matrices dinámicas de correlación cruzada entre los rendimientos y las matrices de varianzas-covarianzas para la generación de escenarios diarios.

En la Tabla 5 se presentan en los paneles A y B las matrices de covarianza y de correlación cruzadas dinámicas diarias al seleccionar exclusivamente el primer día T_i respectivamente, mientras que en los paneles C y D se presentan en orden las matrices para el periodo final T_{1+i} . Es importante aclarar que los resultados para cada tipo de matriz fueron seleccionados con fines comparativos única y exclusivamente entre el inicio y final del periodo de estudio.¹³ La reducción de la correlación positiva entre los mercados de Perú, México y Colombia contrasta con el aumento de la misma entre dichos mercados y su relación con Chile. A fin de comparar las matrices de covarianzas observamos que los cambios ocurridos en las matrices dinámicas cruzadas podrían modificar el efecto de la diversificación de manera favorable afectando significativamente la conducta de instrumentos como portafolios de inversión internacionales que contengan activos financieros del mercado MILA al reducirse de manera gradual y proporcional las expectativas de dependencia debido a la integración de sus mercados, por ejemplo. Esto será

Tabla 5. Muestras de matrices condicionales de varianza y correlación cruzadas dinámicas del modelo GARCH multivariado ajustadas diariamente

Panel A. Matriz de covarianza T_i					Panel B. Matriz de correlación T_i				
1/03/2007	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA	1/03/2007	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1.504466				RIGBVL	1			
RCOLCAP	1.601536	2.990834			RCOLCAP	0.755004	1		
RIPC	0.608768	1.089432	0.867679		RIPC	0.532821	0.676276	1	
RIPSA	-0.221526	0.376543	0.093064	0.729510	RIPSA	-0.211455	0.254919	0.116973	1
Panel C. Matriz de covarianza T_{1+i}					Panel D. Matriz de correlación T_{1+i}				
12/30/2015	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA	12/30/2015	RIGBVL	RCOLCAP	RIPC	RIPSA
RIGBVL	1.045591				RIGBVL	1			
RCOLCAP		0.357024	0.997166		RCOLCAP	0.349649	1		
RIPC	0.371541	0.379816	0.732352		RIPC	0.424586	0.444457	1	
RIPSA	0.131067	0.199932	0.117506	0.611283	RIPSA	0.163943	0.256081	0.175622	1

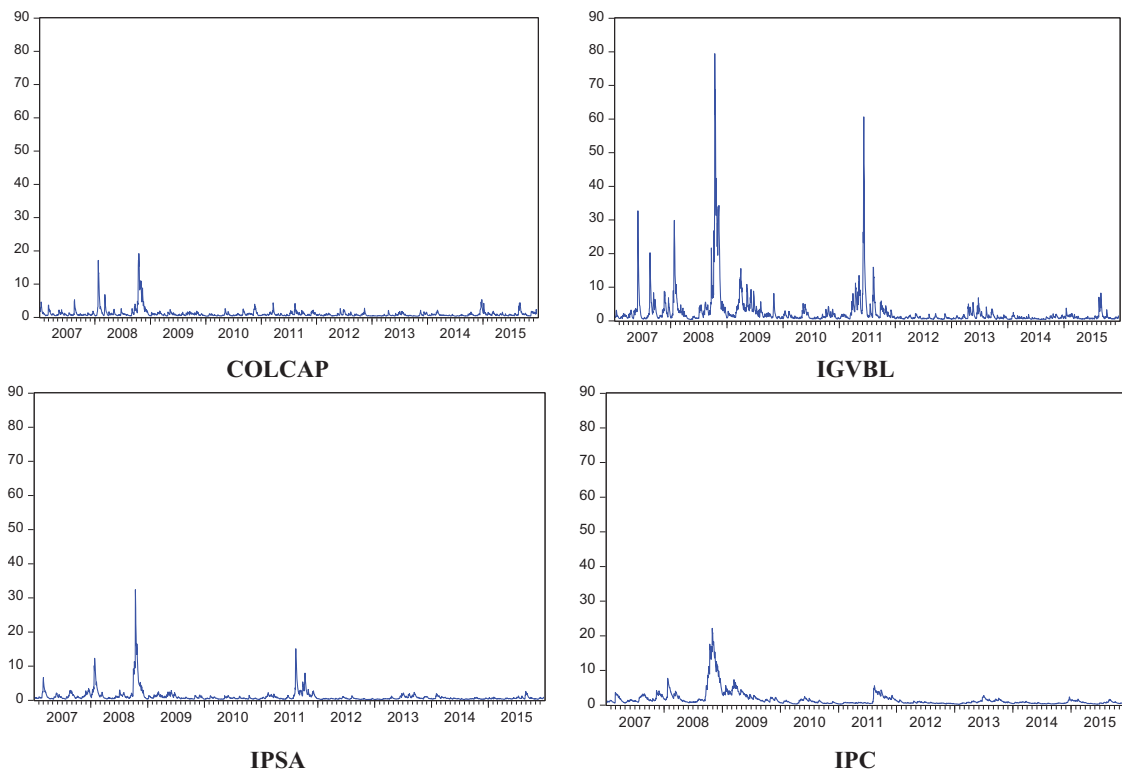
Fuente: Elaboración propia.

¹³ La selección de matrices es arbitraria y con fines comparativos entre los periodos sugeridos solamente, se cometería un error si la interpretación se generaliza para el total de matrices históricas diarias obtenidas por el modelo multivariado.

revisado al analizar la siguiente tabla (asumiendo lo anterior con respecto a la teoría tradicional del portafolios de inversión de Markowitz (1952).

Los modelos multivariados GARCH (M-GARCH) tiene como ventaja la estimación simultánea de volatilidades variantes en el tiempo de diferentes variables. Una volatilidad que cambia a través del tiempo permite obtener mejores estimaciones de medidas de riesgo y a su vez permite asignar y distribuir los activos. El inconveniente que se presenta en este tipo de modelos en la práctica ha sido el número de parámetros a estimarse ya que estos se incrementan dramáticamente en tanto aumente en igual proporción el número de variables. Para superar este problema se han propuesto diferentes tipos de modelos que son variaciones del M-GARCH (para mayores detalles, consúltese Bauwens y Rombouts, 2006). En función de la problemática existente el investigador debe aplicar un modelo M-GARCH diferente y a su vez relevante. Con las variantes, el *trade-off* que surge es a partir de la generalidad (esto es, incluir mucha información sobre muchas variables como sea posible) y el número de parámetros que deba ser estimado. A fin de

Figura 3. Varianzas condicionales de los rendimientos del mercado MILA (2007-2015)



Fuente: Elaboración propia.

entender y pronosticar los movimientos de las volatilidades de activos sobre el tiempo, se requiere de reconocer que existe una dependencia, la cual es capturada por estos modelos; bajo esta lógica, los modelos proporcionan una herramienta para una mejor toma de decisiones para el análisis financiero.

El rasgo principal de las matrices dinámicas resultantes y el efecto de los residuales permiten sugerir la presencia de los efectos de contagio en el largo plazo y la premisa del *trade-off* entre riesgos y beneficios mostraría resultados más eficientes en algunos mercados en relación con los demás. Se presenta en la figura 3 una gráfica de varianzas cambiantes que se obtuvo como una función derivada de estimar el modelo DVECH. Se evidencian dos periodos de volatilidad alta, el primer periodo se vincula con la crisis financiera del periodo 2008-2009 mostrando impactos similares tanto en el mercado financiero colombiano como en el mercado financiero mexicano y con un impacto volátil de mayor intensidad en el mercado financiero chileno, sin embargo, el mercado financiero peruano muestra periodos de volatilidad desde 2007 que culmina con un profundo impacto volátil, cuatro veces mayor comparado con la escala del eje de las ordenadas correspondiente al nivel de la varianza condicional en relación con los demás mercados. En segundo lugar, se presenta otro periodo de volatilidad en los mercados emergentes MILA de 2011 a 2012 sin impacto en el mercado colombiano y con impacto de menor intensidad para los mercados mexicano y chileno, sin embargo, el mercado peruano vuelve a mostrar alta volatilidad en este periodo.

La Tabla 6 presenta el comparativo de bondad de ajuste de los estimadores para cada ecuación multivariada ajustada. Los resultados dejan ver un problema que se presenta para el modelo de correlación condicional constante (CCC) el cual genera un total de $N(N+5)/2$ parámetros libres al incluir en su matriz un número mayor de variables, lo cual complica la generación de los mismos para cada periodo dinámico en el tiempo. La comparación de los valores absolutos demuestra que el modelo que mejor se ajusta resulta ser el VECH diagonal (DVECH), cuyos estimadores permiten obtener matrices de correlación y covarianza dinámicas, según los criterios de Akaike y el logaritmo de máxima verosimilitud. Esto es un indicativo de que el número de restricciones en el modelo se aplica para el modelo CCC, cuyos resultados no pudieron concretarse por las razones ya señaladas anteriormente. Por otra parte, el modelo multivariado con innovaciones T-Student bajo especificaciones GARCH y TGARCH parecen explicar de mejor forma el comportamiento de la heteroscedasticidad —o varianza condicional— teniendo un ajuste más rápido en el tiempo.

Tabla 6. Estimadores de bondad de ajuste comparados en cada estimación de modelos GARCH multivariados

Criterio	Modelo	MODELO MULTIVARIADO NORMAL/1			MODELO MULTIVARIADO T-STUDENT/2		
		ARCH(1)	GARCH(1,1)	TARCH(1,1)	ARCH(1)	GARCH(1,1)	TARCH(1,1)
LM	DVECH	-13,178.42	-12,521.43	-12,295.54	-16,779.24	-12,181.08	-12,115.98
	DBEKK	-13,428.69	-12,583.60(*)	-12,369.69	-12,653.32	-12,251.75	-12,169.54
	CCC	M.N.V.	-12,398.47	M.N.V.	-12,565.16	M.N.V.	M.N.V.
AIC	DVECH	11.2553	10.6935	10.5196	14.3334	10.4144	10.3674
	DBEKK	11.4635	10.74134	10.5675	10.8034	10.4644	10.3976
	CCC	M.N.V.	10.59887	M.N.V.	10.73330	M.N.V.	M.N.V.
Mejor modelo (BA)	DVECH	CCC	DVECH	DBEKK	DVECH	DVECH	

Fuente: Elaboración propia.

Notas: M.N.V.: Modelo no válido. /1. Se refiere al error de distribución normal /2. Se refiere al error de distribución T-Student. (*) Coeficiente de restricción diagonal. (LM): Logaritmo de máxima verosimilitud. (AIC): Criterio de información de Akaike.

De esta manera, se concluye que el ajuste por distribución t parece ser el modelo más indicado para los datos presentados ya que podrían describir de mejor forma los co-movimientos de las perturbaciones y efectos señalados en los mercados financieros integrados, por lo cual resultaría interesante realizar un ajuste de distribución en futuros trabajos a fin de obtener los parámetros relevantes (media y varianza). Las restricciones impuestas permiten la disminución del número de parámetros para el caso de los modelos tanto DVECH como DBEKK y asegurar que las varianzas condicionales sean positivas además de tomar en cuenta la manera en que se ve afectada la volatilidad condicional por los efectos de la volatilidad *per se* y los choques de otros mercados (ver figura 3). Las restricciones permiten también obtener correlaciones variantes en el tiempo y permitir la captura de los efectos de las varianzas rezagadas y su influencia en los demás mercados del sistema (Reyes, 2015). La modelación multivariada GARCH mostrada permitirá que sea posible obtener la producción de residuales de las series financieras asumiendo condiciones de normalidad multivariada significativa por el test de ortogonalidad de Cholesky (Lutkepohl) cuyos resultados se pueden ver en el Apéndice B.

Conclusiones

Se ha hecho una revisión del impacto de tres tipos de modelos multivariados GARCH en series de rendimientos de los índices de precios representativos de los mercados del MILA. Se encontró que estos mercados se fortalecieron (y crearon también codependencia) con la entrada de México a este mercado, siendo este último el motor de crecimiento que podría impulsar el posible desarrollo del mercado regional MILA.

Por su parte, los modelos econométricos multivariados GARCH se muestran conservadores y más precisos para la estimación de matrices de varianzas dinámicas para la detección de la volatilidad condicional; por lo cual puede confirmarse la hipótesis sugerida en la cual éstos son los modelos que capturan mejor las interacciones de las volatilidades dinámicas entre los mercados, permitiendo estimaciones eficientes y confiables. En esencia, los modelos multivariantes DVECH y DBEKK aplicados bajo el ajuste T-Student respondieron de forma más eficiente en relación con los modelos que asumen el supuesto de normalidad, sin embargo no fue así para el caso del modelo de correlación condicional constante (CCC), ya que al incorporar un mayor número de series financieras al modelo, éste reaccionó negativamente debido a que el número de parámetros asociados a las varianzas del modelo complica la evolución de las matrices de correlación dinámicas condicionales y eso finalmente es impedido por el gran tamaño de parámetros que son generados libremente.

Las correlaciones parciales y cruzadas dinámicas obtenidas establecen, por un lado, que existe un factor de dependencia entre los mercados lo cual es síntoma de que pueden sufrir riesgo de contagio debido a los efectos de la volatilidad en cualquiera de ellos; por otro lado, las correlaciones cruzadas dinámicas obtenidas por el mejor modelo (DVECH con innovaciones T-Student) modifican el efecto la conducta de codependencia positivamente y permitiría portafolios de inversión mejor diversificados. Los efectos encontrados con esta integración tienen que ver con oportunidades para invertir en un mercado integrado por economías emergentes con serias diferencias entre los mercados sudamericanos con respecto al mexicano. Sin embargo, los efectos de codependencia y contagio podrían prolongar los periodos de agrupamiento (clúster de largo plazo), pudiendo hacer vulnerable a este mercado. Finalmente, cabe señalar que las coyunturas encontradas en mercados como el MILA deben ser aprovechadas para calcular de manera más eficiente las medidas de riesgo financiero asumidas (por ejemplo el método

de valor en riesgo, o VaR, para portafolios de inversión y enfoques como *expected shortfall*, valores extremos, cópulas, etcétera) con propósitos de cobertura, inversión y arbitraje. La observación de estos efectos debe ser llevada a cabo por parte del analista financiero, por que impactará directamente en la toma de decisiones correspondiente a manera de una eficiente de administración del riesgo, por ejemplo. Por último, cabe resaltar que el estudio pretende abrir el campo del debate para acceder a estudios de frontera con posibilidades para que estos fenómenos sean estudiados desde la perspectiva multidisciplinaria.

Referencias bibliográficas

- Agudelo A.; Diego, Barraza; Santiago, Castro; Ma. Isabel y Mongrut, Samuel (2012). "Liquidez en los mercados accionarios latinoamericanos: estimando el efecto del Mercado Integrado Latinoamericano (MILA)". Documentos de trabajo, núms. 12-21, Colombia, Centro de Investigaciones Económicas y Financieras (CIEF), Universidad EAFIT.
- Alonso, Julio y Arcos, Mauricio (2006). "Cuatro hechos estilizados de las series de rendimientos: una ilustración para Colombia". *Estudios Gerenciales*, vol. 22, núm. 100, pp. 103-123.
- Angelidis, Timotheos; Benos, Alexandros y Degiannakis, Stavros (2006). "The Use of GARCH models in VaR estimation". *Statistical Methodology*, vol. 1, pp. 105-128.
- Anil T., Mustafa (2008). "A Survey of Multivariate GARCH Models". Ankara, Department of Economics, Bilkent University.
- Banco Mundial. (World Development Indicators, disponible en data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators). Junio 2016.
- Bauwens, L., Lauren y S., Rombouts, J. (2006), "Multivariate GARCH Models: A Survey". *Journal of Applied Econometrics*, núm. 21, pp. 79-109.
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Econometrics*, núm. 31, pp. 307-327.
- Bollerslev, Tim; Engle, Robert, F., y Wooldridge Jeffrey F. (1988). "A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances". *Journal of Political Economy*, vol. 96, núm. 1, pp. 116-131.
- Bollerslev, Tim (1990). "Modelling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized ARCH Model". *Review of Economics and Statistics*, núm. 72, pp. 498-505.

- Bollerslev, Tim; Chou, Ray y Kroner, Kenneth (1992). "ARCH Modelling in Finance, A Review of the Theory and Empirical Evidence". *Journal of Econometrics*, núm. 52, pp. 5-59.
- Chee W., Ho y Kim L., Goh (2006). "Regionalism and Stock Market Integration and International Asset Pricing". *Chulalongkorn Journal of Economics*, vol. 18, núm. 2, Agosto, pp. 89-107.
- Engle, Robert (1982). "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of UK Inflation". *Econometrica*, núm. 50, pp. 987-1008.
- Engle, Robert y Kroner, K. (1995). "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH". *Econometric Theory*, vol. II, núm. 1, pp. 122-150.
- Galván, Á., y Cermeño, R. (2009). "Desempeño de estimadores alternativos en modelos GARCH bivariados con muestras finitas". *Documentos de trabajo*, núm. 469, México, CIDE.
- González T., J. M. (1975). "Los índices bursátiles: significación económica y financiera". *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. IV, núm. 14, octubre-diciembre, pp. 507-528.
- Hernández A. I. F.; López H., F., y Hoyos R., L. F. (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". *Estocástica, Finanzas y Riesgo*, vol. 5, núm. 1, enero-junio, pp. 43-64. México, UAM Azcapotzalco.
- Johnson, C. A. (2000). "Métodos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión". *Documentos de Trabajo*, núm. 67, Banco Central de Chile.
- Jorion, (1997). *Valor en Riesgo, el nuevo paradigma para el control de riesgos con derivados*. México, Limusa.
- J. P. Morgan/Reuters (1996). *RiskMetrics Technical Document*. 4ª. ed., Morgan Bank, New York, USA.
- Karolyi, G. Andrew (1995). "A Multivariate GARCH Model of International Transmissions of Stock Returns and Volatility: The Case of the United States and Canada". *Journal of Business & Economics*, January, vol. 13, núm. 1, pp. 11-25.
- López H., F., Ortiz C., E. y Cabello, A. (2009). "Las interrelaciones de volatilidad y rendimientos entre los mercados de valores del TLCAN". *Investigación Económica*, núm. 267, vol. LXVIII, enero-marzo, pp. 83-114.
- López H. F. y Ortiz C., E. (2010). "Dinámica de los rendimientos y la volatilidad de los mercados accionarios de México, Canadá y Estados Unidos". *Administración de Riesgos*, vol. I, UAM Azcapotzalco, Serie Estudios, pp. 134-167.
- 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".

- Avances recientes en valuación de activos y administración de riesgos*, vol. 2, México, Universidad Panamericana.
- Lundbergh, Stefan y Teräsvirta, Timo (2002). "Evaluating GARCH Models". *Journal of Econometrics*, núm. 110, pp. 417-435.
- Markowitz, H. (1952). "Portfolio Selection", *The Journal of Finance*, vol. 7, núm. 1, marzo, pp. 77-91.
- Restrepo E., Ma. Isabel (2012). "Estimating Portfolio Value at Risk with GARCH and MGARCH Models". *Perfil de Coyuntura Económica*, núm. 19, diciembre, pp. 77-92.
- 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, vol. 8, núm. 2, jul.-dic., pp. 129-155.
- Reyes-Z., F. J. (2015). "Estimación de modelos multivariados GARCH en los mercados accionarios de China y México". *Estocástica: Finanzas y Riesgo*, vol. 5, núm. 2, julio-diciembre, UAM Azcapotzalco, México, pp. 187-210.
- Romero A.; Yaneth P.; Ramírez A.; Fabián H. y Guzmán A.; Diana S. (2013). "Mercado Integrado Latinoamericano (MILA): análisis de correlación y diversificación de los portafolios de acciones de los tres países miembros en el periodo 2007-2012". *Cuadernos de Contabilidad*, núm. 14 (34), ene-jun, Colombia, pp. 53-74.
- Ruey S., Tsay (2006). "Multivariate volatility models, Lecture Notes-Monograph". Series, vol. 52, Time Series and Related Topics: In Memory of Ching-Zong Wei (2006). pp. 210-222. Sitio web en: http://www.jstor.org/stable/20461439?seq=1#page_scan_tab_contents.
- Ruiz D, Elisabet (2014). "La nueva era de los mercados financieros y su globalización". *Oikonomics*, Revista de economía, empresas y sociedad, núm. 2, digital Sitio web en <http://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/es/numero02/dossier/eruiz.html>.
- Ruiz-P. A., y Ruiz-R., Brenda (2015). "La hipótesis de eficiencia y la modelación de series bursátiles mexicanas: un análisis multivariado". *Economía Informa*, núm. 390, enero-febrero, México, UNAM, pp. 28-57.
- Salinas C., Edmar y Tavera C., Ma. Elena (2015). "El impacto de la desregulación y la apertura financiera en el crecimiento de México 1990-2012". *Administración de Riesgos, Mercados y modelos financieros*, vol. V, México, UAM Azcapotzalco, pp. 23-56.
- Sandoval, Eduardo y Soto, Macarena (2016). "Mercado Integrado Latinoamericano: un análisis de cointegración". *Revista Internacional Administración & Finanzas*, vol. 9, núm. 2, pp. 1-7.

- Santillán S.; Roberto, Gurrola R. César y López H. Francisco (2016). "Evaluación del grado de integración de los principios del mercado de capital europeos con un modelo Cópula-GARCH". *Estocástica: Finanzas y Riesgos*, vol. 6, núm. 1, enero-junio, México, pp. 9-53.
- Sosa C., M. y Cabello A. (2014). "Comportamiento bursátil en los G-9 emergentes (BRICS +4)". *Problemas del Desarrollo*, núm. 181 (46), abr-jun., México, pp. 127-156.
- 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*, vol. V, primera edición, México, UAM Azcapotzalco, Biblioteca de Ciencias Sociales y Humanidades, Serie Estudios.
- Tse, Y. K., y Tsui, Albert (2001). "A Multivariate GARCH Model with Time-Varying Correlations". sitio web en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=250228.
- Vargas P., William y Bayardo M., José, (2013). "El MILA. Mercado de integración entre Chile, Perú y Colombia". *Revista de relaciones internacionales*, vol. 8, no. 1, enero-junio, Colombia, pp. 113-133.
- World Federation of Exchanges. "Annual Report & Statistics", varios números, sitio web en <http://www.world-exchanges.org/>.

Apéndice A1. PIB como proporción del total del mercado MILA

País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	PROMEDIO "MILA"
Chile	11%	11%	11%	12%	13%	13%	13%	13%	12%	12%
Colombia	12%	14%	15%	16%	17%	17%	18%	18%	18%	16%
Perú	6%	7%	7%	9%	9%	9%	10%	10%	9%	9%
México	70%	68%	67%	63%	62%	61%	59%	59%	61%	63%
Brasil	81%	92%	103%	117%	130%	136%	122%	116%	113%	114%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice A2. Porcentaje de capitalización interna como proporción del total del mercado MILA

Mercado bursátil	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROMEDIO "MILA"
Bolsa de Comercio de Santiago	29%	28%	27%	30%	30%	30%	27%	26%	24%	25%	28%
Bolsa de Valores de Colombia	10%	10%	15%	18%	19%	20%	22%	20%	19%	13%	17%
Bolsa de Valores de Lima	6%	8%	8%	9%	9%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Bolsa Mexicana de Valores	54%	54%	50%	43%	42%	42%	42%	46%	50%	53%	48%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice B. Prueba de normalidad residual del modelo DVECH

Ortogonalidad: Cholesky (Lutkepohl)

Hipótesis nula (H0): Los residuales asumen una distribución normal multivariada

Muestra: 1/03/2007 12/30/2015

Número de observaciones: 2,346

Componente	Asimetría	Chi-cuadrada	Grados de libertad	Probabilidad
1	-0.529417	109.5902	1	0.0000
2	-0.279715	30.59206	1	0.0000
3	-0.274906	29.54926	1	0.0000
4	-0.226073	19.98368	1	0.0000
Conjunta		189.7153	4	0.0000

Componente	Asimetría	Chi-cuadrada	Grados de libertad	Probabilidad
1	4.994179	388.7272	1	0.0000
2	4.304214	166.2702	1	0.0000
3	4.121808	123.0137	1	0.0000
4	3.836212	68.35179	1	0.0000
Conjunta		746.3630	4	0.0000

Componente	Jarque-Bera	Grados de libertad	Probabilidad
1	498.3175	2	0.0000
2	196.8623	2	0.0000
3	152.5630	2	0.0000
4	88.33548	2	0.0000
Conjunta	936.0782	8	0.0000