

La hipótesis de eficiencia y la modelación de series bursátiles mexicanas: un análisis multivariado

The efficient-market hypothesis and the modelling of mexican stock series: a multivariate analysis

Antonio Ruiz-Porras* y Brenda Ruiz-Robles**

Resumen

Estudiamos la Hipótesis de Eficiencia de los Mercados (EMH) y modelamos las series de rendimientos bursátiles mexicanos. El estudio utiliza pruebas de raíces unitarias y doce modelos GARCH multivariados. Los principales resultados sugieren que: 1) El mercado bursátil mexicano es ineficiente en forma débil; 2) la eficiencia ha disminuido desde el año 2007; 3) los modelos de Correlación Condicionada Constante (CCC) son los que mejor describen los rendimientos; 4) las buenas y malas noticias tienen impactos asimétricos sobre la volatilidad; y 5) las perturbaciones parecen seguir una distribución *t* de Student multivariada. El estudio usa series diarias de los precios de 20 acciones y del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) para el periodo 02/10/2000-10/10/2012.

Palabras clave:

- Hipótesis de Eficiencia de Mercados
- Modelos GARCH Multivariados
- Series Bursátiles
- Crisis Financiera Global

Abstract

We study the Efficient-Market Hypothesis (EMH) and we model the series of Mexican stock returns. The study uses unit-root tests and twelve multivariate GARCH models. The main results suggest that: 1) The Mexican stock market is weakly inefficient; 2) efficiency has declined since 2007; 3) Constant Conditional Correlation (CCC) models are best ones that describe the returns; 4) good and bad news have asymmetric impacts on volatility; and 5) perturbations seem to follow a multivariate Student's *t* distribution. The study uses 20 daily series of stock prices and of the Mexican Stock-Market Index (IPC) for the period 02/10/2000-10/10/2012.

Keywords:

- Efficient-Market Hypothesis
- Multivariate GARCH models
- Stock Series
- Global Financial Crisis

JEL: C58, C32, G14

1. Introducción

Tradicionalmente se considera que los mercados bursátiles son importantes medios de desarrollo económico y financiero. En la literatura se sustenta dicha importancia con base en la consideración de que los mercados bursátiles cumplen funciones necesarias para el buen desempeño de las economías.¹ Entre otras, estas funciones incluyen: 1) la provisión liquidez para financiar proyectos; 2) la diversificación de riesgos; 3) la provisión de información de las empresas; 4) el control de malas prácticas de gobierno corporativo; y 5) la movilización de ahorros. Usualmente se considera que el cumplimiento de estas funciones depende en gran medida de la eficiencia de los mercados bursátiles.

¹ Una de las revisiones clásicas de la literatura sobre cómo los mercados bursátiles fomentan el desarrollo económico es el trabajo de Levine y Zervos (1996).

* Email: antoniop@ucea.udg.mx Dirección: Departamento de Métodos Cuantitativos. Universidad de Guadalajara, CUCEA. Periferico Norte 799, Núcleo Universitario Los Belenes, 45100, Zapopan, Jalisco, México.

** Email: brenda_ruiz2587@yahoo.com.mx Dirección: Calzada Circunvalación Poniente núm. 49, Ciudad Granja, 45010, Zapopan, Jalisco, México.

Paradójicamente, el término de “eficiencia del mercado bursátil” es relativamente reciente y sujeto a controversias en la economía financiera. Eugene Fama introduce el término para hacer referencia a aquellos mercados en donde los precios de los activos reflejan plenamente la información disponible (Fama, 1965). Más aun, Fama define una teoría alrededor de dicho término. La *Hipótesis de Eficiencia de los Mercados* (*Efficient-Market Hypothesis*, *EMH*), señala que no es posible obtener consistentemente rendimientos financieros superiores a aquellos del promedio del mercado. Asimismo, postula la imposibilidad de describir los precios de los activos usando modelos estadísticos.

En las literaturas teórica y empírica existen agudas controversias sobre la validez de la hipótesis de eficiencia de los mercados bursátiles. Las revisiones de estudios no ofrecen evidencia concluyente en ningún sentido. Los hallazgos empíricos relativos a la EMH dependen en buena medida del nivel de desarrollo, de los periodos considerados y de las economías analizadas. Las posiciones entre quienes argumentan en favor y en contra de la validez de la EMH se han polarizado tras la crisis financiera global. Por una parte, están quienes atribuyen esta crisis a la suposición de validez de la EMH. Por otra, están quienes sustentan que la EMH ha sido entendida de una manera muy restrictiva.²

En esta investigación se estudia la validez de la hipótesis de eficiencia en el mercado bursátil mexicano y se modelan sus series de rendimientos bursátiles. La evaluación de la EMH, en su forma débil, se realiza mediante estadísticas descriptivas, pruebas de raíces unitarias y de correlación. Los ejercicios de modelación y análisis econométricos utilizan doce modelos GARCH multivariados con fines de comparativos y de caracterización de las series durante periodos de calma e inestabilidad financiera. El estudio se sustenta en una muestra de series de precios diarios de veinte acciones y del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) que abarca datos del 2 de octubre de 2000 al 10 de octubre de 2012.

Académicamente, la investigación complementa la literatura referida a la evaluación de la eficiencia del mercado bursátil mexicano; y la literatura referida a la modelación de series con modelos GARCH multivariados. Particularmente, a diferencia de otros estudios, aquí se utilizan pruebas de estacionariedad y de correlación para evaluar la EMH. Asimismo, se modelan y analizan las series de rendimientos bursátiles, de manera conjunta, mediante diversos modelos GARCH multivariados. En este contexto, vale la pena señalar que se analizan, modelan y comparan las series bursátiles considerando periodos de relativa “calma” e “inestabilidad” en los mercados internacionales.

² Véase Ball (2009) para una revisión de los argumentos que sustentan ambas posiciones.

2. Revisión de la literatura

En esta sección se revisan los estudios referentes a la hipótesis de la eficiencia de los mercados, los modelos GARCH multivariados y el concepto de estacionariedad. Por esta razón, la sección se divide en dos apartados. En el primer apartado se explica la Hipótesis de Eficiencia de los Mercados (EMH), sus implicaciones y las controversias que la misma ha planteado. En el segundo se describen las estructuras de los modelos GARCH multivariados y se analiza la vinculación entre la EMH y la estacionariedad de las series de tiempo. En ambos apartados se hace énfasis en los estudios empíricos realizados en el contexto mexicano. Esto con fines de contextualizar y justificar el estudio desarrollado.

2.1 La Hipótesis de Eficiencia de los Mercados

En la economía y las finanzas existen varias teorías que explican el comportamiento de los mercados y las series bursátiles. Probablemente la más conocida es la Hipótesis de Eficiencia de los Mercados (EMH) propuesta por Fama (1965).³ Esta teoría postula que, en un mercado “eficiente”, los precios de los activos reflejan plenamente la información disponible en dicho mercado.⁴ Más aun, postula la imposibilidad de describir y predecir los precios de los activos

³ Tradicionalmente se le atribuye a Fama (1965) la propuesta de la teoría de la eficiencia de mercado. Sin embargo, parece que en realidad la misma fue propuesta por Louis Bachelier bajo el nombre de la teoría del “estado estático del mercado” (Bachelier, 1900). Hyme (2003) atribuye el cambio de terminología y autoría de la teoría a los economistas denominados como Nuevos Clásicos. Estos economistas, en contraposición de los keynesianos, consideran que el equilibrio walrasiano es permanente y que las expectativas de los agentes económicos y financieros se determinan mediante procesos racionales.

⁴ Adviértase que la definición de eficiencia es de tipo informacional y no de tipo distributivo. En el contexto informacional, la eficiencia se refiere a la manera en que los precios de los activos reflejan la información existente. En el contexto distributivo, la eficiencia se relaciona con la asignación óptima de recursos escasos entre los agentes de la economía. Véase Cortés y Corzo (2009) para una discusión y análisis sobre los conceptos de eficiencia informacional y distributiva.

de manera sistemática usando modelos estadísticos. Por tanto, si un mercado es eficiente, el mejor pronóstico para el precio de mañana de un activo cualquiera será su precio del día de hoy.

Empíricamente, la hipótesis de eficiencia tiene importantes implicaciones econométricas.⁵ Particularmente, si se considera que su cumplimiento conlleva a la imposibilidad de que los agentes puedan obtener ganancias sistemáticas por hacer transacciones bursátiles; la EMH implica que el valor esperado de los rendimientos debiera ser cero. La EMH también implica que los rendimientos no pueden estar correlacionados en el tiempo y que los modelos estadísticos carecen de utilidad práctica. Esto ocurre debido a que la EMH explica los movimientos de los precios como procesos de caminata aleatoria (Fama, 1965); o, más generalmente, como martingalas (Samuelson, 1965; Mandelbrot, 1966).

En la literatura empírica existen varias revisiones de estudios que han evaluado la validez de la EMH en los mercados bursátiles. Sin embargo, las revisiones no ofrecen evidencia concluyente en ningún sentido. Aparentemente, los resultados reportados dependen del nivel de desarrollo, de los periodos considerados y de las economías analizadas. Entre las revisiones que reportan evidencia en favor de la EMH están las de Fama (1970) y Malkiel (2003) y (2005). Entre las revisiones que hallan evidencia en contra están las de Shleifer (2001) y Timmermann y Granger (2004). Entre las revisiones que ofrecen evidencia mixta se encuentran las de Hyme (2003), Yen y Lee (2008) y Duarte y Mascareñas (2013).

Empíricamente, la falta de evidencia concluyente puede atribuirse, entre otros factores, a que no existe una definición única de la EMH. La literatura especializada distingue entre las formas de eficiencia débil, semi-fuerte y fuerte. Particularmente, la forma débil establece que los precios presentes incorporan toda la información de los precios pasados (Aragonés y Mascareñas, 1994). La forma semi-fuerte establece que los precios incorporan toda la información hecha pública que afecte el valor de los activos. La forma fuerte establece que los precios incorporan toda la información pública y privada que se puede conocer (Mehrra y Oryoie, 2012).

En México, existen algunos estudios que han analizado la hipótesis de eficiencia en el mercado bursátil en su forma débil. Particularmente, López-Herrera (1998) argumenta en contra de la misma mediante un análisis los precios del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) entre 1987 y 1997. El estudio se sustenta en regresiones de mínimos cuadrados ordinarios (MCO-OLS) y en tests de autocorrelación. Santillán-Salgado (2011) argumenta en favor de la EMH

⁵ Véase Uribe-Gil y Ulloa-Villegas (2011) para una derivación matemática de estas implicaciones.

Metodológicamente, los estudios realizados muestran que existen áreas de oportunidad para el desarrollo de investigación en el contexto del mercado bursátil mexicano. Los estudios existentes, en su mayoría, asumen que se cumplen los supuestos del modelo de regresión lineal clásico de mínimos cuadrados (MCO-OLS). Sin embargo, es posible argumentar que las series bursátiles suelen mostrar comportamientos no lineales, autorregresivos y heteroscedásticos que no son compatibles con los supuestos de MCO-OLS. Además, la teoría sugiere que las evaluaciones de la EMH deben centrarse en los precios de los activos bursátiles y en sus rendimientos, tanto a nivel agregado como desagregado.

2.2 Modelación econométrica de series bursátiles y la estacionariedad de las series

⁶ Un estudio reciente relacionado es el de Cabrero, Cermeño y Hernández-Trillo (2013). Ellos argumentan a favor de la EMH mediante un análisis bootstrap del tipo de cambio peso-dólar entre 1997 y 2011.

distribuciones no normales.⁷ Los primeros modelos de esta familia fueron desarrollados por Engle (1982) y Bollerslev (1986).

Los modelos de la familia ARCH se dividen en univariados y multivariados. Los modelos univariados modelan la media y la varianza de series individuales. Los modelos multivariados lo hacen para conjuntos de series. En la literatura empírica se usan modelos univariados con fines de descripción y análisis de series financieras y bursátiles.⁸ Paradójicamente, es reconocido que los mercados y activos financieros suelen moverse de manera conjunta a lo largo del tiempo. Sin embargo, los trabajos que usan modelos multivariados son relativamente escasos.⁹ Esta situación se justifica, entre otras razones, porque estos modelos requieren la estimación de un gran número de parámetros.

Los modelos GARCH multivariados asumen diversos supuestos sobre la dinámica conjunta de las series económicas y financieras. Estas dinámicas se postulan mediante supuestos relativos al vector de la media condicional, de la matriz de varianza-covarianza condicional y de la distribución de densidad multivariada de las perturbaciones. Particularmente, las matrices de varianza-covarianza son importantes porque las mismas definen la estructura dinámica de los modelos multivariados. En la literatura especializada, las matrices de varianza-covarianza más usadas son de los tipos DVECH (*Diagonal VECH*), DBEKK (*Diagonal BEKK*) y CCC (*Constant Conditional Correlation*).

Los modelos GARCH multivariados (*MGARCH*, *Multivariate GARCH*) muy pocas veces se han usado para analizar y modelar series económicas y financieras mexicanas. La mayoría de los estudios publicados modelan y analizan los rendimientos bursátiles a nivel agregado y su relación con las dinámicas de otras series internacionales.¹⁰ Metodológicamente, estos estudios suelen asumir especificaciones de tipo GARCH sin efectos apalancamiento. Entre los estudios que han usado modelos MGARCH destacan los de Ludlow y Mota (2006), Domínguez (2006), López-Herrera, Ortiz y Cabello (2009) y Lorenzo-Valdés, Durán-Vázquez y Armenta-Fraire (2012).

⁷ Adviértase que ninguno de estos comportamientos es susceptible de ser modelado mediante el modelo de regresión lineal clásico de mínimos cuadrados ordinarios.

⁸ Véase el estudio de Lorenzo-Valdés y Ruíz-Porras (2012) para revisiones de las aplicaciones de los modelos GARCH univariados para describir el comportamiento de series financieras y bursátiles mexicanas.

⁹ Véase los trabajos de Laurent y Rombouts (2006) y Minovic (2009) para revisiones en el contexto de economías desarrolladas de las aplicaciones de los modelos GARCH multivariados.

¹⁰ Los trabajos de López-Herrera y Rodríguez-Benavides (2010) y López-Herrera, Venegas-Martínez y Gurrola-Ríos (2012) constituyen excepciones. El primer trabajo analiza las relaciones del mercado accionario mexicano con el crecimiento económico. El segundo analiza las relaciones del IPC, el tipo de cambio, el EMBI+ y la tasa de interés.

3. Metodología de análisis

$$r_{it} = \ln P_{it} - \ln P_{it-1} \quad (1)$$

Estadísticamente, el análisis de estacionariedad se usa para analizar la pertinencia de modelar las series bursátiles y la validez de la hipótesis de eficiencia. La modelación econométrica de series requiere que las mismas sean integradas de orden cero $I(0)$ (i.e., estacionarias). Asimismo, y tal como ya se ha mencionado, la hipótesis de eficiencia requiere que las series de precios no sean estacionarias, lo cual implica que las mismas deben ser al menos de orden uno $I(1)$. En este contexto, aquí se usa el test Aumentado de Dickey-Fuller (ADF) para analizar el orden de integración de las series bursátiles. La hipótesis nula en dicho test es que existen raíces unitarias (i.e., la serie es no-estacionaria).

Los modelos MGARCH se usan con fines de modelación econométrica y de análisis de las series bursátiles. Los modelos usados aquí son de los tipos DVECH (*Diagonal VECH*), DBEKK (*Diagonal BEKK*) y CCC (*Constant Conditional Correlation*). Estos modelos son variaciones de los propuestos, respectivamente, por Bollerslev, Engle y Wooldridge (1988), Engle y Kroner (1995) y Bollerslev (1990). Particularmente, los modelos empleados consideran especificaciones de tipo GARCH y TGARCH para analizar los posibles efectos de los shocks informativos sobre la volatilidad de las series. Asimismo, los modelos consideran distintas distribuciones de densidad multivariada (Normal y t de Student).

Tradicionalmente las estructuras dinámicas de los modelos MGARCH se plantean como sistemas de ecuaciones. Las tres expresiones matriciales que definen a los modelos usados en esta investigación son las siguientes:

, donde r_t es un vector que incluye una serie de tiempo multivariada de N procesos estocásticos; θ es un vector de parámetros; $H_1^{-2}(\theta)$ es una matriz definida positiva $N \times N$; y z_t es un vector aleatorio $N \times 1$, tal que $E(z_t) = 0$ y $Var(z_t) = I_N$.

¹³ Las matrices de varianza-covarianza de los modelos DVECH, DBEKK y CCC se definen en el Apéndice.

Estadísticamente, y por consistencia con otros estudios, en todos los modelos estimados se asume que las perturbaciones siguen un proceso AR(1). Este supuesto se explicita en términos de la definición de la perturbación, ε_{it} , como: $\varepsilon_{it} = c + \rho_i \varepsilon_{it} + v_{it}$, donde c es una constante y v_{it} es ruido blanco. En este contexto, la evaluación de la significancia de ρ_i resulta un test adicional sobre la validez de la EMH. Esto en virtud de que la significancia de ρ_i implicaría la existencia de autocorrelación, eventualmente de orden infinito, en las series de rendimientos. Por esta razón, aquí se hacen explícitas las estimaciones y los p-valores asociados a las estimaciones de ρ_i .

4. Base de datos y estadística descriptiva

37

La muestra analizada se caracteriza por experimentar periodos de relativa calma e inestabilidad en los mercados bursátiles internacionales. Por esta razón, las series de precios se agrupan considerando tres periodos. El primero incluye las series completas. El segundo incluye datos de las series para el periodo entre el 02 de octubre de 2000 al 9 de agosto de 2007. El tercero incluye datos para el periodo del 10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012. Los periodos utilizados se usan con fines de comparación y análisis. Así, el primer periodo se usa como referencia. El segundo refiere a una etapa de “calma” en los mercados. El tercero, por contraste, refiere a una etapa de “inestabilidad” financiera.¹⁴

¹⁴ Los días 9 y 10 de agosto de 2007 se coordinaron la FED, el Banco de Canadá, el Banco Central Europeo, el Banco de Japón y el Banco de Reservas de Australia para estabilizar la caída generalizada de los mercados bursátiles internacionales. Este evento fue, muy probablemente, la primera gran manifestación de la crisis financiera global.

Estadística descriptiva de los rendimientos de los activos para el periodo del 2 de octubre de 2000 al 10 de octubre de 2012 y prueba de normalidad de Jarque-Bera

El cuadro 2 muestra la estadística descriptiva de las series considerando el periodo del 3 de octubre de 2000 al 09 de agosto de 2007. Este cuadro es importante porque provee escasa evidencia en favor de la EMH. Esto ocurre porque las medias de los rendimientos a nivel agregado y desagregado, aunque tendientes a cero, son mayores que las registradas en el cuadro 1. Además, las desviaciones estándar tienden a ser consistentemente menores (lo cual sugiere la existencia de clusters de volatilidad). El cuadro también muestra que 17 series exhiben un sesgo negativo y, las restantes, un sesgo positivo. Asimismo, el cuadro confirma que las series son leptocúrticas y que ninguna se distribuye normalmente.

Estadística descriptiva de los rendimientos de los activos para el periodo del 10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012 y prueba de normalidad de Jarque-Bera

Activo Bursátil	Media	Desv. Est.	Coef. Asim.	Curtosis	Jarque-Bera	P-value
Alfa	-0.0009	0.0687	-29.1413	980.6914	52000823.00	0.0000
Bimbo	-0.0005	0.0431	-25.2192	809.3410	35383399.00	0.0000
Cemex	-0.0009	0.0367	0.0632	9.0822	2006.23	0.0000
Comercial Mexicana	0.0001	0.0522	-13.7080	359.9467	6947480.00	0.0000
Consortio Ara	-0.0011	0.0262	-0.4349	21.1107	17821.12	0.0000
Corporación Geo	-0.0010	0.0309	-0.2070	7.7812	1248.48	0.0000
Empresas Ica	-0.0007	0.0285	-0.0687	21.3620	18278.00	0.0000
Fomento EconMex	0.0009	0.0206	-0.2092	9.7216	2458.63	0.0000
G Financiero Banorte	0.0004	0.0304	0.1122	14.5548	7240.20	0.0000
G Financiero Inbursa	0.0001	0.0303	-10.0752	251.3793	3366247.00	0.0000
Grupo Carso	0.0000	0.0344	-10.4641	258.7697	3569951.00	0.0000
Grupo Elektra	0.0007	0.0275	0.0602	10.3852	2957.38	0.0000
Grupo México	-0.0003	0.0432	-12.9432	332.4906	5921403.00	0.0000
Grupo Modelo	0.0005	0.0197	0.4656	10.5469	3134.51	0.0000
Grupo Televisa	0.0001	0.0194	0.6577	8.6072	1798.15	0.0000
Kimberly Clark México	-0.0003	0.0349	-22.1153	680.5870	24994407.00	0.0000
Organización Soriana	0.0001	0.0218	-0.2949	7.4041	1070.31	0.0000
Telmex	-0.0005	0.0218	-10.6274	256.1973	3499725.00	0.0000
TV Azteca	0.0002	0.0181	0.5286	9.3041	2214.95	0.0000
Wal Mart de México	0.0000	0.0270	-12.0631	301.6851	4867629.00	0.0000
IPC	0.0003	0.0151	0.1924	8.9055	1898.57	0.0000

Finalmente debe señalarse que el análisis de estadística descriptiva sugiere que hay escasa evidencia para sustentar la hipótesis de eficiencia en el mercado bursátil mexicano. Las medias de los rendimientos, si bien tienden a cero, son positivas durante los periodos considerados. Asimismo, la evidencia muestra que las series tienden a manifestar curtosis excesivas, clusters de volatilidad, asimetrías, distribuciones no normales, volatilidades no constantes y movimientos conjuntos de medias y varianzas. Estas características implican que las series de rendimientos pudieran ser analizables mediante modelos de la familia ARCH (y, por tanto, potencialmente inconsistentes con la EMH).

Nota: La hipótesis nula asociada a la prueba ADF se rechaza cuando $\text{Prob} < 0.05$.

**Prueba ADF para las series de los logaritmos de precios (niveles)
y de los rendimientos (diferencias) para los periodos del
2 de octubre de 2000 al 9 de agosto de 2007,
y del 10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012**

Grupo Modelo	0.2977	0	0.0000	1	1
Grupo Televisa	0.0963	1	0.0000	0	1
Kimberly Clark México	0.0483	0	0.0000	0	0
Organización Soriana	0.0909	0	0.0000	0	1
Telmex	0.0452	0	0.0000	0	0
TV Azteca	0.0681	0	0.0000	0	1
Wal Mart de México	0.0599	0	0.0000	0	1
IPC	0.3943	1	0.0000	0	1

Activo Bursátil	10/08/2007-10/10/2012				
	Niveles		Diferencias		I(d)
	Prob	Rezagos	Prob	Rezagos	
Alfa	0.4209	0	0.0000	0	1
Bimbo	0.4691	0	0.0000	0	1
Cemex	0.1877	1	0.0000	0	1
Comercial Mexicana	0.5978	4	0.0000	3	1
Consorcio Ara	0.0587	0	0.0000	0	1
Corporación Geo	0.2065	0	0.0000	0	1
Empresas Ica	0.2570	1	0.0000	0	1
Fomento Econ Mex	0.1020	0	0.0000	0	1
G Financiero Banorte	0.7790	0	0.0000	0	1
G Financiero Inbursa	0.2031	0	0.0000	0	1
Grupo Carso	0.0237	0	0.0000	0	0
Grupo Elektra	0.1942	1	0.0000	0	1
Grupo México	0.4806	0	0.0000	0	1
Grupo Modelo	0.2699	2	0.0000	1	1
Grupo Televisa	0.0353	0	0.0000	0	0
Kimberly Clark México	0.5341	0	0.0000	0	1
Organización Soriana	0.0490	1	0.0000	0	0
Telmex	0.2330	0	0.0000	0	1
TV Azteca	0.1674	0	0.0000	0	1
Wal Mart de México	0.0836	0	0.0000	0	1
IPC	0.5364	0	0.0000	0	1

Nota: La hipótesis nula asociada a la prueba ADF se rechaza cuando Prob < 0.05.

Las series de logaritmos de precios que son $I(0)$ son susceptibles de ser descritas y analizadas de manera directa mediante modelos econométricos. Por tanto refieren a activos individuales que no cumplen con la hipótesis de eficiencia.

Analíticamente, los resultados estimados tienen implicaciones sobre el mercado bursátil mexicano. Particularmente la validación de que la mayoría de las series de logaritmos de precios son $I(1)$ sugiere que la hipótesis de eficiencia prevalece en el mercado a nivel agregado y desagregado. Sin embargo, los resultados también sugieren que la eficiencia del mismo ha tendido a disminuir a nivel desagregado desde agosto de 2007. Econométricamente, la validación de que las series de precios sean $I(1)$ conlleva a que las diferencias de las mismas sean modelables. Esto significa que la mayoría de las series de rendimientos bursátiles son susceptibles de ser descritas y analizadas estadísticamente.

Los modelos GARCH multivariados (MGARCH) usados en esta investigación comparten una estructura similar para efectos de estimación econométrica. En todos los modelos, los vectores de la media condicional requieren estimar los coeficientes ϕ_{il} y ρ_i . Asimismo, requieren hacer estimaciones de las matrices de varianza-covarianza. Por comparabilidad y simplicidad, la dinámica conjunta de las series de rendimientos se describe usando los doce modelos multivariados señalados anteriormente. Al igual que en los análisis anteriores, las estimaciones se agrupan por periodos. Estas estimaciones están sintetizadas en los cuadros 6 7 y 8. La comparación econométrica de las estimaciones se realiza con base en el cuadro 9.

45

El cuadro 6 muestra las estimaciones que describen la dinámica del conjunto de series de rendimientos bursátiles considerando el periodo completo. Este cuadro provee valores de referencia para evaluar la hipótesis de eficiencia y la distribución de las perturbaciones. El cuadro muestra que los rendimientos tienden a estar correlacionados entre sí: Todas las estimaciones de ρ_i y la mayoría de ϕ_{i1} son significativas. Por tanto, la evidencia provee escasa evidencia para validar la hipótesis de eficiencia. Además, el cuadro provee evidencia de que las perturbaciones se distribuyen siguiendo una distribución t de Student multivariada: Todas las estimaciones referidas a los grados de libertad son significativas.

Estimaciones obtenidas mediante los modelos GARCH
multivariados para las series de rendimientos durante el periodo
del 2 de octubre de 2000 al 10 de octubre de 2012

			AR(1)- GARCH(1,1)		AR(1)- TGARCH(1,1)		AR(1)- GARCH(1,1)-t Student		AR(1)- TGARCH(1,1)-t Student	
Media	DVECH	ρ	0.013995		0.0204	**	0.0118		0.0142	*
		P. Estimados	6		6		6		6	
		P. Significativos	5		2		5		6	
	CCC	ρ	0.0087		0.0131	*	0.0131	*	0.0138	*
		P. Estimados	6		6		6		6	
		P. Significativos	5		2		6		2	
	DBEKK	ρ	0.0223	***	0.0245	***	0.0098	***	0.0120	
		P. Estimados	6		6		6		6	
		P. Significativos	5		6		4		4	

¹⁶ Los cinco activos incluidos en el cuadro 6 incluyen a Comercial Mexicana, Grupo Modelo, Grupo Televisa, TV Azteca y el IPC. Los siete activos incluidos en el cuadro 7 incluyen a Alfa, Bimbo, Comercial Mexicana, Grupo Modelo, Grupo Televisa, TV Azteca y el IPC. Los once activos incluidos en el cuadro 8 incluyen a Consorcio Ara, Cemex, Comercial Mexicana, Grupo Elektra, Fomento Econ. Mex., Corporación Geo, G Financiero Banorte, Grupo Modelo, Empresas Ica, TV Azteca y el IPC. Adviértase que el número de series modelables, *i.e.* ineficientes, se incrementó desde 2007.

Varianza	DVECH	P. Estimados	45	60	45	46		
		P. Significativos	45	56	45	43		
	CCC	P. Estimados	25	30	25	30		
		P. Significativos	25	29	25	28		
	DBEKK	P. Estimados	11	16	11	16		
		P. Significativos	11	16	11	15		
Covarianza	DVECH	P. Estimados	45	60	45	46		
		P. Significativos	45	56	45	43		
	CCC	P. Estimados	25	30	25	30		
		P. Significativos	25	29	25	28		
	DBEKK	P. Estimados	11	16	11	16		
		P. Significativos	11	16	11	15		
Distribución t	DVECH	P. Estimados			1	1		
		P. Significativos			1	1		
	CCC	P. Estimados			1	1		
		P. Significativos			1	1		
	DBEKK	P. Estimados			1	1		
		P. Significativos			1	1		

El cuadro 7 muestra las estimaciones que describen la dinámica del conjunto de series de rendimientos bursátiles considerando el periodo del 3 de octubre de 2000 al 9 de agosto de 2007. Este cuadro confirma los resultados obtenidos anteriormente. Los rendimientos tienden a estar correlacionados en el tiempo ya que todas las estimaciones de ρ_i y la mayoría de ϕ_{il} son significativas. Por tanto, la evidencia confirma que existe escasa evidencia para validar la hipótesis de eficiencia. Además, el cuadro confirma que las perturbaciones se distribuyen siguiendo una distribución t de Student multivariada. Al igual que antes, todas las estimaciones referidas a los grados de libertad son significativas.

Estimaciones obtenidas mediante los modelos GARCH
multivariados para las series de rendimientos durante el periodo
del 2 de octubre de 2000 al 9 de agosto de 2007

			AR(1)- GARCH(1,1)		AR(1)- TGARCH(1,1)		AR(1)- GARCH(1,1)-t Student		AR(1)- TGARCH(1,1)-t Student		
Media	DVECH	ρ	0.0275	***	0.0350	***	0.0189	**	0.0217	***	
		P. Estimados	8		8		8		8		
		P. Significativos	7		7		4		7		
	CCC	ρ	0.0291	***	0.0323	***	0.0226	***	0.0237	***	
		P. Estimados	8		8		8		8		
		P. Significativos	7		4		5		3		
	DBEKK	ρ	0.0317	***	0.0308	***	0.0197	**	0.0195	**	
		P. Estimados	8		8		8		8		
		P. Significativos	6		6		4		4		
Varianza	DVECH	P. Estimados	84		43		84		43		
		P. Significativos	78		26		75		19		
	CCC	P. Estimados	42		49		42		49		
		P. Significativos	42		46		42		45		
	DBEKK	P. Estimados	15		22		15		22		
		P. Significativos	15		22		15		17		
	Covarianza	DVECH	P. Estimados	84		85		84		85	
			P. Significativos	78		68		75		61	
		CCC	P. Estimados	42		49		42		49	
P. Significativos			42		46		42		45		
DBEKK		P. Estimados	15		22		15		22		
		P. Significativos	15		22		15		17		
Distribución t	DVECH	P. Estimados					1		1		
		P. Significativos					1		1		
	CCC	P. Estimados					1		1		
		P. Significativos					1		1		
	DBEKK	P. Estimados					1		1		
		P. Significativos					1		1		

Notas: *,** y *** denotan niveles de significancia del 10, 5 y 1 por ciento respectivamente. Las estimaciones se refieren a los 7 activos cuyas series de rendimientos manifestaron efectos ARCH.

El cuadro 8 muestra las estimaciones que describen la dinámica del conjunto de series de rendimientos bursátiles considerando el periodo del 10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012. Este cuadro también confirma los resultados obtenidos anteriormente. Al igual que antes, los rendimientos tienden a estar significativamente correlacionados entre sí. Sin embargo, debe mencionarse que las magnitudes absolutas de ρ_i obtenidas tienden a ser mayores que las obtenidas en los periodos previos. Además, el cuadro también confirma que las perturbaciones se distribuyen siguiendo una distribución t de Student multivariada. Asimismo, todas las estimaciones referidas a los grados de libertad son significativas.

Cuadro 8

**Estimaciones obtenidas mediante los modelos garch
multivariados para las series de rendimientos durante el periodo
del 10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012**

			AR(1)- GARCH(1,1)		AR(1)- TGARCH(1,1)		AR(1)- GARCH(1,1)-t Student		AR(1)- TGARCH(1,1)-t Student	
Media	DVECH	ρ	0.0453	***	-0.0069	**	0.0296	**	0.0395	***
		P. Estimados	12		12		12		12	
		P. Significativos	4		8		4		10	
	CCC	ρ	0.0463	***	0.0459	***	0.0370	***	0.0368	***
		P. Estimados	12		12		12		12	
		P. Significativos	7		4		4		4	
	DBEKK	ρ	0.0474	***	0.0525	***	0.0397	***	0.0358	***
		P. Estimados	12		12		12		12	
		P. Significativos	7		6		5		4	
Varianza	DVECH	P. Estimados	198		89		198		89	
		P. Significativos	189		70		191		79	
	CCC	P. Estimados	88		99		88		99	
		P. Significativos	88		98		88		95	
	DBEKK	P. Estimados	23		34		23		34	
		P. Significativos	23		34		23		33	

Notas: *, ** y *** denotan niveles de significancia del 10, 5 y 1 por ciento respectivamente. Las estimaciones se refieren a los 11 activos cuyas series de rendimientos manifestaron efectos ARCH.

La consistencia de los resultados econométricos sugiere que hay patrones definidos de comportamiento de las series de rendimientos. Particularmente, el número creciente de series modelables confirma que la ineficiencia ha tendido a aumentar desde 2007. La predominancia de los modelos de tipo CCC sugiere que las correlaciones condicionales explican la dinámica conjunta de comportamiento de dichas series. La predominancia de la especificación TGARCH sugiere que las buenas y malas noticias tienen impactos asimétricos sobre la volatilidad de los rendimientos. La predominancia de la distribución t de Student multivariada sugiere que las perturbaciones no se distribuyen normalmente.

	Log likelihood				Criterio Akaike				Modelo con Mejor Bondad de Ajuste			
	DVECH		CCC		DBEKK		DVECH			CCC		DBEKK
	2 de octubre de 2000 al 10 de octubre de 2010											
AR(1)-GARCH(1,1)	41906.86	*	41611.98	4.14E+04	-27.71912	*	-27.53707	-27.44	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)	4.20E+04	*	41706.48	4.16E+04	-27.78924	*	-27.59634	-27.55	CCC			
AR(1)-GARCH(1,1)-t Student	42651.4	*	42385.00	42345.08	-28.21152	*	-28.04834	-28.03	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)-t Student	42530.58		42421.06	42414.39	-28.14409		-28.06892	-28.07	DVECH			
	2 de octubre de 2000 al 9 de agosto de 2007											
AR(1)-GARCH(1,1)	33184.09	*	32863.36	3.28E+04	-38.52397	*	-38.19948	-38.19887	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)	33025.30	*	32909.96	3.29E+04	-38.38685	*	-38.24559	-38.26528	CCC			
AR(1)-GARCH(1,1)-t Student	33693.90	*	33400.12	33462.69	-39.1163	*	-38.8232	-38.92746	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)-t Student	33558.50	*	33419.18	33486.66	-39.0064	*	-38.83723	-38.94722	DBEKK			
	10 de agosto de 2007 al 10 de octubre de 2012											
AR(1)-GARCH(1,1)	36665.12	*	37524.43	3.64E+04	-56.08479	*	-57.57605	-56.01	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)	33886.31	*	37587.47	3.68E+04	-51.9774	*	-57.65611	-56.52	CCC			
AR(1)-GARCH(1,1)-t Student	38211.31	*	38277.4	37606.09	-58.46201	*	-58.73292	-57.80	CCC			
AR(1)-TGARCH(1,1)-t Student	38093.35	*	38300.33	37745.45	-58.44823	*	-58.75128	-58.00	CCC			

Notas: El asterico (*) denota que los modelos no cumplen con la condición de que la matriz de covarianza es semidefinida positiva. El modelo con mejor bondad de ajuste se determina con base en los estimadores considerados.

7. Conclusiones y discusión

En esta investigación se ha estudiado la validez de la hipótesis de eficiencia (EMH) en el mercado bursátil mexicano y se han modelado las series de rendimientos bursátiles. La evaluación de la EMH, en su forma débil, se ha realizado mediante estadísticas descriptivas, pruebas de raíces unitarias y de correlación. Los ejercicios de modelación y análisis econométricos han utilizado doce modelos GARCH multivariados con fines de comparativos y de caracterización de las series durante periodos de calma e inestabilidad financiera. El estudio se

La consistencia de los resultados obtenidos bien puede servir para justificar el estudio de las causas de la persistente ineficiencia del mercado bursátil mexicano. Particularmente, es nuestra creencia que esta se explica, parcialmente, por el escaso desarrollo del mercado. Este subdesarrollo se manifiesta en varios hechos estilizados. Entre estos se incluyen: 1) el pequeño y volátil número de empresas que hacen transacciones;¹⁷ 2) la gran concentración de la bursatilización en un pequeño conjunto de acciones de empresas de gran tamaño;¹⁸ y 3) la existencia de problemas de asimetría de información.¹⁹ El estudio de estos hechos bien podría complementar el análisis aquí desarrollado.

¹⁹ El mercado bursátil mexicano, como otros mercados emergentes, no se caracteriza por contar con sistemas que provean información de manera rápida y a costos bajos, tal como ocurre en los mercados desarrollados.

Apéndice: Matrices de Varianza-Covarianza Condicional

La matriz de varianza-covarianza condicional del modelo de DVECH propuesto por Bollerslev, Engle y Wooldridge (1988) se caracteriza por tener un número bajo de parámetros a estimar. Esta propiedad permite que el número de parámetros a estimar sea relativamente reducido y por tanto lo hace relativamente sencillo de estimar. La matriz, H_t , del modelo DVECH es la siguiente:

donde las matrices de coeficientes Ω , A y B son matrices simétricas de $N \times N^{20}$ y donde “o” denota el producto Hadamard.²¹

²¹ El producto de Hadamard de dos matrices $m \times n$ A y B se denota por $A \circ B$ y es una matriz $m \times n$ cuyas entradas están dadas por $(A \circ B) = a_{ij} b_{ij}$.

$$H_t = \Omega \Omega' + A \varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}' A' + B H_{t-1} B' \quad (\text{A.2})$$

La matriz de varianza-covarianza del modelo CCC propuesto por Bollerslev (1990) no es diagonal. Aquí, las correlaciones condicionales son constantes en el tiempo y las covarianzas condicionales son proporcionales al producto de las desviaciones estándar condicionales correspondientes. Así, los elementos de la matriz H_t , del modelo CCC son definidos como:

$$h_{iit} = c_i + a_i \varepsilon_{iit}^2 + d_i I_{iit}^- \varepsilon_{iit}^2 + b_i h_{iit-1} \quad (\text{A.3})$$

$$h_{ijt} = \rho_{ij} \sqrt{h_{iit} h_{jjt}}$$

²² Bauwens, Laurent y Rombouts (2006) detallan las condiciones que deben satisfacer las estimaciones de las matrices de covarianza condicional para que las mismas sean válidas económicamente.

Referencias

- Aragónés, José R., y Juan Mascareñas, “La eficiencia y el equilibrio en los mercados de capital”, *Análisis Financiero*, 1994, Núm. 64, pp. 76-89.
- Bachelier, Louis, *Théorie de la Speculation*, Tesis de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Paris, Universidad Paris-Sorbona, 1900 [Traducción al inglés de D. May, 2011].
- Ball, Ray, “The Global Financial Crisis and the Efficient Market Hypothesis: What we have learned?”, *Journal of Applied Corporate Finance*, 2009, 21(4), otoño, pp. 8-16.
- Bauwens, Luc, Sébastien Laurent, y Jeroen V. K. Rombouts, “Multivariate GARCH models: A survey”, *Journal of Applied Econometrics*, 2006, 21(1), enero-febrero, pp. 79-109.
- Bollerslev, Tim, “Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity”, *Journal of Econometrics*, 1986, 31(3), abril, pp. 307-327.
- Bollerslev, Tim, “Modeling the coherence in short-run nominal exchange rates: A multivariate generalized ARCH model”, *Review of Economics and Statistics*, 1990, 72(3), agosto, pp. 498-505.
- Bollerslev, Tim, Robert F. Engle y Jeffrey M. Wooldridge, “A capital asset pricing model with time-varying covariances”, *Journal of Political Economy*, 1988, 96(1), febrero, pp. 116-131.
- Cabrero, Rodrigo, Rodolfo, Cermeño y Fausto Hernández-Trillo, “Eficiencia en el mercado accionario: Nueva evidencia para el caso mexicano”, *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 2013, 8(1), enero-junio, pp. 53-74.
- Cortés, José M. y Teresa Corzo, “La eficiencia en los mercados financieros: Una introducción a la cuestión”, *Revista Empresa y Humanismo*, 2009, 12(2), segundo semestre, pp. 81-106.
- Duarte, Juan B. y Juan Mascareñas, “La eficiencia de los mercados de valores: Una revisión”, *Análisis Financiero*, 2013, Núm. 122, segundo cuatrimestre, pp. 21-35.
- Durán-Vázquez, Rocio, Arturo Lorenzo-Valdés y Antonio Ruíz-Porras, “Valuation of Latin-American stock prices with alternative versions of the Ohlson model: An investigation of cointegration relationships with time-series and panel-data”, en Rafael Espinosa-Ramírez, (ed.), *Research Issues in International Economic Relations*, Universidad de Guadalajara- Editorial Universitaria, Zapopan, 2012, pp. 161-183.
- Engle, Robert F., “Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation”, *Econometrica*, 1982, 50(4), julio, pp. 987-1007.

Engle, Robert F. y Kenneth F. Kroner, "Multivariate simultaneous generalized ARCH", *Econometric Theory*, 1995, 11(1), febrero, pp. 122-150.

Engle, Robert F., "GARCH 101: The use of ARCH/GARCH models in applied econometrics", *Journal of Economic Perspectives*, 2001, 15(4), otoño, pp. 157-168.

Engle, Robert F., Sergio M. Focardi, y Frank J. Fabozzi, "ARCH/GARCH models in applied financial econometrics", en Frank J. Fabozzi (ed.), *Handbook of Finance Vol. 3: Valuation, Financial Modeling and Qualitative Tools*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2008, pp. 689-700.

Fama, Eugene F., "Random walks in stock market prices", *Financial Analyst Journal*, 1965, 21(5), septiembre-octubre, pp. 55-59.

Fama, Eugene F., "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work", *Journal of Finance*, 1970, 25(2), mayo, pp. 383-417.

Fama, Eugene F., "Efficient capital markets II", *Journal of Finance*, 1991, 46(5), diciembre, pp. 1575-1617.

Hamilton, James D., *Time Series Analysis*, Nueva Jersey, Princeton University Press, 1994.

Hyme, Pauline, "La teoría de los mercados de capitales eficientes. Un examen crítico", *Cuadernos de Economía*, 2003, 22(39), julio-diciembre, pp. 57-83.

Levine, Ross y Sara Zervos, "Stock market development and long-run growth", *The World Bank Economic Review*, 1996, 10(2), pp. 323-339.

Ludlow, Jorge y Beatriz Mota, "Volatilidad del IPC, NASDAQ, y S&P500: Un modelo GARCH multivariado", *Análisis Económico*, 2006, 21(48), tercer trimestre, pp. 215-227.

López-Herrera, Francisco, "Análisis de la eficiencia del mercado accionario mexicano", *Contaduría y Administración*, 1998, (191), mayo-agosto, pp. 75-83.

López-Herrera, Francisco, Edgar Ortiz y Alejandra Cabello, "Las interrelaciones de volatilidad y rendimientos entre los mercados de valores del TLCAN", *Investigación Económica*, 2009, 68(267), enero-marzo, pp. 83-114.

López-Herrera, Francisco y Domingo Rodríguez-Benavides, "El efecto enero en las principales bolsas latinoamericanas de valores", *Contaduría y Administración*, 2010, (230), enero-abril, pp. 25-46.

López-Herrera, Francisco, Francisco Venegas-Martínez y César Gurrola-Ríos, "EMBI+ y su relación dinámica con otros factores de riesgo sistemático: 1997-2011", *Estudios Económicos*, 2013, 28(2), julio-diciembre, pp. 193-216.

Lorenzo-Valdés, Arturo, Rocío Durán-Vázquez, y Leticia Armenta-Fraire, "Conditional correlation between oil and stock market returns: The case of Mexico", *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 2012, 7(1), enero-junio, pp. 49-63.

