



Munich Personal RePEc Archive

Modeling Mexican stock returns with TGARCH and EGARCH models: An econometric study for 30 stocks and the Stock Market Index

Lorenzo-Valdes, Arturo and Ruiz-Porras, Antonio

Universidad de Guadalajara, CUCEA, Tecnológico de Monterrey,
Ciudad de México

5 September 2011

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/36872/>

MPRA Paper No. 36872, posted 23 Feb 2012 17:06 UTC

MODELACIÓN DE RENDIMIENTOS BURSÁTILES MEXICANOS MEDIANTE LOS MODELOS TGARCH Y EGARCH: UN ESTUDIO ECONOMETRICO PARA 30 ACCIONES Y EL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES

(Esta versión: Septiembre 5, 2011)

Arturo Lorenzo-Valdés **
Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México

Antonio Ruiz-Porras ***
Universidad de Guadalajara, CUCEA

Resumen

Hacemos un estudio comparativo usando los modelos econométricos no lineales TGARCH y EGARCH. Estos los usamos para describir rendimientos bursátiles mexicanos. Modelamos las series de rendimientos diarios de 30 acciones y del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) para el periodo entre el 7 de diciembre de 2005 y el 1 de agosto de 2011. La mayoría de las series muestran efectos apalancamiento. Asimismo, los resultados sugieren que el modelo AR(1)-EGARCH(1,1) describe adecuadamente los rendimientos agregados del mercado bursátil (medidos vía IPC). También muestran que los modelos AR(1)-TGARCH(1,1) y AR(1)-EGARCH(1,1) ajustan 19 y 11 series de rendimientos accionarios, respectivamente. Finalmente los resultados muestran que la media (varianza) de los rendimientos ha disminuido (aumentado) a partir de agosto de 2007.

Palabras Clave: TGARCH, EGARCH, Rendimientos bursátiles, México, no linealidad

Abstract

We develop a comparative study using the TARCH and EGARCH non-linear econometric models. We use them to describe Mexican stock market returns. We model daily series of returns for 30 stocks and the Stock Market Index (IPC) for the period between December 7, 2005 and August 1, 2011. Most of the series show leverage effects. The results also suggest that the AR(1)-EGARCH(1,1) model describes properly the aggregated returns of the stock market (measured by the IPC). They also show that the AR(1)-TGARCH(1,1) and AR(1)-EGARCH(1,1) models fit 19 and 11 stock return series, respectively. Finally, the results show that the return mean (variance) has decreased (increased) since August 2007.

Keywords: TGARCH, EGARCH, Stock returns, Mexico, non linearity

JEL: C58, G17

** Email: arvaldes@itesm.mx Dirección: Departamento de Contabilidad y Finanzas. Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México. Calle del Puente 222, Ejidos de Huipulco, 14380, Tlalpan, México DF, México.

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

MODELACIÓN DE RENDIMIENTOS BURSÁTILES MEXICANOS MEDIANTE LOS MODELOS TGARCH Y EGARCH: UN ESTUDIO ECONOMÉTRICO PARA 30 ACCIONES Y EL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES

1. Introducción

La modelación de series económicas y financieras es necesaria para el análisis de decisiones de administración financiera. Estas decisiones, lo mismo que sus resultados, dependen en buena medida de la manera en que son descritas y pronosticadas dichas series. Particularmente, la adecuada modelación de rendimientos de los activos es necesaria para analizar decisiones de inversión, de valuación de activos y de administración de riesgo. Por esta razón, los análisis econométricos de modelación de los rendimientos han tenido gran desarrollo en las últimas décadas. Según Engle (2004), los orígenes de estos análisis se encuentran en los trabajos de Markowitz (1952) y Tobin (1958) sobre la media y varianza de portafolios financieros.

Las características propias de las series financieras hacen difícil su modelación empírica mediante técnicas econométricas tradicionales. Las series suelen mostrar comportamientos muy volátiles. Usualmente las series manifiestan curtosis excesivas, clusters de volatilidad, volatilidades no constantes, distribuciones no normales y movimientos conjuntos de la volatilidad entre distintos activos y mercados financieros. En añadidura a las anteriores, la volatilidad de los rendimientos frecuentemente experimenta de “efectos apalancamiento”. Esto es, reacciones asimétricas ante “shocks” informacionales de la misma magnitud y signo contrario (v.g. las malas noticias tienen un impacto mayor que las buenas noticias).

Los modelos econométricos de la familia ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*), son los más utilizados para modelar las series de rendimientos financieros. Estos son modelos *no lineales* de tipo autorregresivo con heteroscedasticidad condicional (ARCH). Su objetivo se centra principalmente en modelar de la varianza (y la volatilidad) de las series financieras. Particularmente, entre los modelos que integran a esta familia, se encuentran los denominados *asimétricos*. Estos últimos modelan las series considerando que las mismas experimentan efectos apalancamiento. Entre los más conocidos modelos asimétricos están los *TGARCH* y *EGARCH* desarrollados, respectivamente, por Zakoian (1994) y Nelson (1991).¹

En esta investigación desarrollamos un ejercicio comparativo de modelación de los rendimientos de los activos bursátiles mexicanos mediante los modelos no lineales TGARCH y EGARCH. Estos modelos los usamos para describir las series de rendimientos bursátiles a nivel desagregado (por acción) y agregado (considerando la totalidad del mercado). Particularmente modelamos las series de rendimientos *diarios* de treinta acciones y del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) durante el periodo comprendido entre el 7 de diciembre de 2005 y el 1 de agosto de 2011. El periodo de análisis, por si mismo es interesante en términos de modelación econométrica, porque abarca momentos de relativa calma e inestabilidad en la economía global.

En esta investigación mostramos la conveniencia de usar modelos ARCH asimétricos mediante un ejercicio de modelación econométrica. Asimismo, y de manera indirecta, evaluamos el impacto de la crisis global en el mercado bursátil mexicano. Para conseguir ambos objetivos, usamos las siguientes preguntas como guías de investigación: ¿Qué características tienen las

¹ Los nombres TGARCH y EGARCH derivan de las principales características de los modelos. Concretamente, TGARCH es acrónimo de “*Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*”; EGARCH es acrónimo de “*Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*”.

series de rendimientos de los activos bursátiles mexicanos? ¿Existen efectos apalancamiento en las series de rendimientos? ¿Cuáles son las ventajas de usar los modelos asimétricos TARCH y EGARCH? ¿En que casos es preferible usar cada uno de los modelos analizados? ¿Tuvo la crisis global algún efecto sobre el mercado y los activos bursátiles?

Metodológicamente desarrollamos esta investigación en varias etapas. En la primera planteamos los antecedentes de los modelos ARCH y mostramos como se han usado en México. En la segunda construimos las series de rendimientos de los activos bursátiles mexicanos. En la tercera analizamos y comparamos el comportamiento estadístico de las series considerando la existencia de periodos de calma e inestabilidad financiera global. Posteriormente estimamos los parámetros de los modelos TARCH y EGARCH para cada una de las 31 series analizadas. Finalmente, en la quinta etapa, analizamos los modelos estimados y evaluamos su bondad de ajuste con fines comparativos y de modelación econométrica.

Los resultados del ejercicio econométrico sugieren que hay efectos asimétricos significativos en los rendimientos bursátiles mexicanos. En la mayoría de las series encontramos efectos apalancamiento. Asimismo, los resultados comparativos sugieren que el modelo AR(1)-EGARCH(1,1) puede describir adecuadamente los rendimientos agregados del mercado bursátil (medidos vía IPC). A nivel desagregado, los resultados muestran que los modelos AR(1)-TGARCH(1,1) y AR(1)-EGARCH(1,1) podrían ajustar adecuadamente el comportamiento de 19 y 11 series de rendimientos accionarios, respectivamente. Asimismo, muestran que las media (varianza) de los rendimientos ha disminuido (aumentado) a partir de agosto de 2007.

Académicamente, nuestra investigación complementa la escasa literatura econométrica referida a la modelación de los rendimientos bursátiles mexicanos. Hasta donde sabemos, Guzmán-Plata (1998) ha publicado el único estudio en donde se modelan estos rendimientos a nivel desagregado. Su análisis, al igual que otros posteriores, asume que rendimientos bursátiles reaccionan simétricamente ante shocks informacionales. Si bien este supuesto es discutible, cabe señalar casi no hay estudios que hayan modelado series bursátiles mexicanas con modelos asimétricos. Una excepción la constituye el trabajo de López-Herrera (2004). Sin embargo, en dicho estudio únicamente se modela el índice agregado IPC.

El capítulo está organizado en seis secciones. La Sección 2 incluye la revisión de la literatura. Se describen los antecedentes de los modelos ARCH y se revisan los estudios de modelación de los rendimientos bursátiles mexicanos. En la Sección 3 se describen los modelos TGARCH y EGARCH y la metodología del estudio. La Sección 4 describe la base de datos y muestra la estadística descriptiva de las 31 series de rendimientos considerando la existencia de periodos de calma e inestabilidad global. La Sección 5 muestra los resultados de las estimaciones econométricas y desarrolla el análisis comparativo entre modelos. La Sección 6 sintetiza los resultados y menciona algunas líneas de investigación futura.

2. Modelos ARCH y modelación de los rendimientos bursátiles mexicanos

La familia de modelos que incluye a los autorregresivos con heteroscedasticidad condicional (ARCH) y los ARCH generalizados (GARCH), es la más usada para modelar series financieras. La misma es conocida como “*familia de modelos ARCH*”. Los modelos de esta familia asumen que la información rezagada de una variable y su volatilidad condicionada son determinantes del

comportamiento presente y futuro de las series. Metodológicamente, esta familia incluye modelos econométricos contruidos con base en el enfoque de series de tiempo. Los orígenes de los mismos se hallan en los estudios de Engle (1982) y Bollerslev (1986). En estos últimos estudios se plantean los modelos que dan origen a la familia ARCH.

Los modelos de la familia ARCH suelen ser no lineales y estar condicionados por la información disponible. Tradicionalmente se clasifican de acuerdo a sus especificaciones de modelación. Estas especificaciones se refieren a la forma en que se postula la dinámica de comportamiento de la *varianza condicional* de las series financieras.² Las especificaciones de la varianza postuladas son importantes porque la volatilidad “verdadera” no es observable. De hecho, cada especificación de la varianza usualmente define un cierto tipo de modelo ARCH. En este contexto, resulta de interés señalar que hay más de un centenar de especificaciones distintas de la varianza condicional (Bollerslev, 2010).

Los modelos econométricos de la familia ARCH se han usado ampliamente para modelar la media y volatilidad de series financieras y económicas. Algunas de las revisiones más amplias de las aplicaciones de estos modelos están en los trabajos de Poon y Granger (2003) y Bauwens, Laurent y Rombouts (2006). La mayoría de estas aplicaciones se centra en la descripción y pronóstico de series en el contexto de economías desarrolladas. Sin embargo, existe una creciente literatura que se ha enfocado mostrar aplicaciones de los mismos en economías emergentes. En estos estudios usualmente se describen y pronostican índices bursátiles, tasas de interés y tipos de cambio.

² Las especificaciones de los modelos ARCH también se refieren a la forma en que la información describe a la media y a la distribución probabilística de las series financieras.

En México, es reciente el uso de los modelos ARCH para describir el comportamiento de variables financieras. Particularmente, en lo que concierne al mercado bursátil, la mayoría de los estudios se centran en describir el comportamiento agregado del mercado. De hecho, hay muy pocos estudios que hayan estudiado el comportamiento de los activos bursátiles a nivel desagregado. Entre estos últimos se encuentran los trabajos de Guzmán-Plata (1998) y Cermeño y Solís (2009). El primero es quizá la primera aplicación de los modelos ARCH en México. Su análisis econométrico se centra en la modelación de las acciones mexicanas. El segundo trabajo es un análisis comparativo de los rendimientos accionarios entre distintos sectores económicos.

Los trabajos que han estudiado las acciones del mercado bursátil mexicano son muy escasos. Entre estos se encuentran los de López-Herrera y Vázquez-Téllez (2002), Trejo, Nuñez y Lorenzo (2006) y Durán-Vázquez, Lorenzo-Valdés y Ruiz-Porras (2011). Sin embargo, ninguno de estos estudios se centra en la modelación del comportamiento ni en la volatilidad de las acciones. De hecho, casi no existen estudios que se hayan centrado en la volatilidad de los rendimientos accionarios a nivel individual. La excepción nuevamente es el estudio de Guzmán-Plata (1998). En su estudio, ella describe la volatilidad de treinta y tres acciones mediante modelos ARCH-M. Su estudio usa datos diarios del periodo 1995-1997.

Metodológicamente las especificaciones usadas para modelar las varianzas de las series mexicanas han sido diversas. La mayoría asumen que el comportamiento de la varianza condicional es simétrico ante las buenas y malas noticias. Sin embargo, justo es reconocer que este supuesto no es consistente con la evidencia empírica. Si bien en la literatura existen varias especificaciones que asumen volatilidades asimétricas, las mismas casi no se han utilizado en

México. Una excepción es el estudio de López-Herrera (2004). En el mismo se modela el comportamiento del mercado bursátil de manera agregada (IPC), usando los modelos TGARCH y EGARCH.

Finalizamos esta revisión de la literatura enfatizando que la modelación de los rendimientos bursátiles resulta un área de gran interés en la econometría financiera. Sin embargo, todavía es necesario fomentar el uso de modelos de la familia ARCH en economías emergentes. Como es bien conocido, la volatilidad de los mercados financieros emergentes suele ser mayor que en sus contrapartes en economías desarrolladas. Particularmente, en el contexto del mercado bursátil mexicano, creemos que es necesario desarrollar análisis econométricos a nivel desagregado y usar especificaciones de la varianza que asuman la existencia de asimetrías. De hecho, con base en estas consideraciones, justificamos el trabajo aquí desarrollado.

3. Modelos TGARCH Y EGARCH y metodología de análisis

Metodológicamente, aquí estimamos la volatilidad de los rendimientos bursátiles de los activos mexicanos mediante modelos ARCH asimétricos. Los activos analizados incluyen treinta acciones individuales que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores y el índice agregado del mercado bursátil (ÍPC). Particularmente, aquí estimamos los rendimientos de esos activos usando los precios diarios de cierre de cada activo i en el periodo t , P_{it} . Asumiendo que los precios de los activos siguen un proceso continuo de interés compuesto; definimos la tasa de rendimiento de un activo i en el periodo t , r_{it} , como el cambio en los logaritmos de los precios de los activos:³

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

³ Los cambios de los logaritmos de una variable denotan cambios relativos, los cuales, al ser multiplicados por cien denotan, cambios porcentuales.

Analíticamente usamos dos especificaciones de modelación econométrica que asumen que la volatilidad es asimétrica ante shocks informacionales. Estas especificaciones definen a los modelos no lineales TGARCH y EGARCH usados en esta investigación. En ambos modelos se permite que el impacto sobre la volatilidad futura de un shock negativo (malas noticias), sea mayor que uno positivo de magnitud equivalente (buenas noticias). Mediante estos impactos describimos los “efectos apalancamiento” que suelen mostrar las series de rendimientos. Usualmente, la ocurrencia de los efectos apalancamiento se explica en términos de cambios parciales en las primas de riesgo (French, Schwert y Stambaugh, 1987).

En este trabajo usamos los modelos EGARCH y TGARCH para describir la media y varianza condicionales de los rendimientos bursátiles (r_{it} y σ_{it}^2 , respectivamente). Particularmente, el modelo TGARCH asume una especificación que permite que la desviación estándar condicionada dependa del signo de los shocks rezagados. Este modelo fue desarrollado originalmente por Zakoian (1994). Para efectos de modelación, aquí usamos un modelo AR(1)-TGARCH(1,1):

$$\begin{aligned} r_{it} &= \phi_{i0} + \phi_{i1}r_{it-1} + u_{it} \\ u_{it} &= \sigma_{it}\varepsilon_{it} \\ \sigma_{it}^2 &= \alpha_{i0} + \alpha_{i1}u_{it-1}^2 + \gamma_i u_{it-1}^2 I_{it-1} + \beta_i \sigma_{it-1}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

donde $I_{it} = \begin{cases} 1 & u_{it-1} < 0 \\ 0 & u_{it-1} \geq 0 \end{cases}$.

En el modelo TGARCH, los shocks tienen impactos diferenciados en la varianza condicional. Los shocks positivos ($u_{it-1} > 0$), tienen un impacto α_{i1} . Los negativos ($u_{it-1} < 0$), tienen un

impacto $\alpha_{i1} + \gamma_i$. Por tanto, si $\gamma_i \neq 0$, los shocks (noticias) tienen un impacto asimétrico. Particularmente si $\gamma_i > 0$, las malas noticias incrementan la volatilidad y ocurre el “efecto apalancamiento”. Los coeficientes de la especificación de la varianza se postulan como positivos.

El segundo modelo estimado es una variación del modelo EGARCH. En el mismo, al igual que aquel desarrollado por Nelson (1991), se permiten asimetrías en la relación entre los rendimientos y la volatilidad. El modelo de tipo AR(1)-EGARCH (1,1) es el siguiente:⁴

$$\begin{aligned}
 r_{it} &= \phi_{i0} + \phi_{i1}r_{it-1} + u_{it} \\
 u_{it} &= \sigma_{it}\varepsilon_{it} \\
 \ln \sigma_{it}^2 &= \alpha_{i0} + \alpha_{i1} \frac{|\varepsilon_{it-1}|}{|\sigma_{it-1}^2|} + \gamma_i \frac{\varepsilon_{it-1}}{\sigma_{it-1}^2} + \beta_i \ln \sigma_{it-1}^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

En este modelo, la última expresión describe al logaritmo de la varianza condicional. Esto implica que el efecto apalancamiento es exponencial, no cuadrático, y que los pronósticos de la varianza condicional son no negativos. Si $\gamma_i < 0$, hay efectos apalancamiento. Si $\gamma_i \neq 0$, los shocks tienen un impacto asimétrico. Al igual que en el modelo anterior, los coeficientes de la especificación de la varianza se postulan positivos teóricamente.

Los modelos ARCH arriba descritos comparten una estructura similar y tienen supuestos estadísticos comunes.⁵ En ambos casos la estructura dinámica de los modelos esta integrada por

⁴ El modelo EGARCH usado en este trabajo difiere de aquel desarrollado por Nelson (1991). La especificación de la varianza condicional y la distribución de los errores condicionados son distintas.

⁵ Es relevante señalar que las mayores diferencias de ambos modelos se refieren a los signos esperados de los coeficientes que evalúan la existencia del efecto apalancamiento γ_i . En el modelo TGARCH debe ocurrir que $\gamma_i > 0$. En el modelo EGARCH debe ocurrir que $\gamma_i < 0$.

tres expresiones matemáticas y una estructura de rezagos de orden uno.⁶ Particularmente, la primera expresión es la especificación de la media de los rendimientos. La segunda es la condición que define un proceso ARCH (véase Bollerslev 2010). La tercera es la especificación de la varianza condicional. Estadísticamente asumimos que los errores condicionados ε_{it} se distribuyen como una normal estandarizada en ambos modelos. Las especificaciones de la media y varianza, aunadas a la distribución de probabilidad definen a los modelos ARCH.

La estimación econométrica de los errores estándar de ambos modelos se hace mediante el método de Cuasi-Máxima Verosimilitud (*Quasi-Maximum Likelihood, QML*) propuesto por Bollerslev y Wooldridge (1992). Este método tiene la ventaja que nos permite estimar errores estándar robustos (consistentes y eficientes), asumiendo la existencia de heteroscedastidad. Estos errores los usamos para calcular los estadísticos “z”. El uso de este método se justifica cuando los errores pudieran no están condicionalmente distribuidos como una normal. Si pudiésemos garantizar dicha normalidad, la estimación podría hacerse directamente mediante el método de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood, ML*).

El análisis estadístico y comparativo de los modelos lo hacemos mediante estadísticos complementarios. Concretamente, la significancia individual de cada coeficiente la evaluamos mediante los p-values asociados a los estadísticos z. Posteriormente comparamos la significancia y el signo de los coeficientes con aquellos postulados teóricamente. La bondad de ajuste la evaluamos mediante los estimadores del logaritmo de verosimilitud (*Log-Likelihood*) y

⁶ Los rezagos de orden uno se refieren a los términos autorregresivo, GARCH y de asimetría de los modelos. Estos rezagos definen el sistema de ecuaciones a evaluar empíricamente. La adopción de dicho orden de rezagos se justifica con base en los correlogramas de los residuales y de los residuales al cuadrado asociados. En la mayoría de los casos, cuando se adoptaron rezagos unitarios, los correlogramas sugirieron ruido blanco y, por tanto, un buen ajuste inicial.

del criterio de información de Akaike (*AIC*). La relevancia de estos estimadores estriba en que los mismos nos dan criterios alternativos para elegir al mejor modelo descriptivo de los rendimientos de cada activo bursátil.

4. Base de datos y rendimientos bursátiles de los activos mexicanos

Utilizamos la base de datos de Economática para obtener una muestra de datos bursátiles de la Bolsa Mexicana de Valores. La muestra incluye los precios de cierre de las principales acciones que integran el Índice de Precios y Cotizaciones registrados entre el 6 de diciembre de 2005 y el 1 de agosto de 2011. Asimismo incluye datos diarios del IPC. Todos los datos son nominales. Así la muestra se integra por 31 series de precios donde cada serie incluye 1475 observaciones diarias. Esta muestra nos sirve para construir treinta y un series de rendimientos bursátiles con base en la ecuación (1). Estas series de rendimientos, cada una con 1474 observaciones, constituyen la base de datos de esta investigación.

Históricamente el periodo analizado se caracteriza por momentos de relativa calma y de gran inestabilidad en los mercados financieros internacionales. Por esta razón, dividimos las series de rendimientos considerando dos periodos. El primero abarca del 7 de diciembre de 2005 al 9 de agosto de 2007. El segundo abarca del 10 de agosto de 2007 al 1 de agosto de 2011. La determinación de estos periodos, si bien subjetiva, se sustenta en el reconocimiento de la existencia de la “crisis global” en los mercados bursátiles internacionales.⁷ Así, durante el

⁷ En los días 9, 10 y 11 de agosto de 2007, por primera vez en la historia, se coordinaron los bancos centrales de los tres continentes para estabilizar la caída generalizada de los mercados bursátiles internacionales. Este hecho hizo explícita la escala global de la crisis financiera y económica que se manifestaría en los meses subsecuentes. Algunos análisis de esta crisis y sus efectos se encuentran en los trabajos de Ruiz-Porrás (2010) y Stiglitz (2010). El primero se centra el desenvolvimiento cronológico de la crisis global y en sus efectos sobre la economía mexicana. El segundo hace un análisis centrado en la economía, los mecanismos monetarios y financieros y la conducta de los intermediarios en Estados Unidos.

primer periodo asumimos una situación de “calma” en los mercados internacionales; mientras que, durante el segundo periodo, asumimos una de “inestabilidad”.

Estadísticamente el uso de los modelos ARCH asimétricos se justifica con base en las características de las series de rendimientos bursátiles mexicanos. Estas características incluyen curtosis altas (leptocúrticas), clusters de volatilidad,, distribuciones no normales, asimetrías, volatilidades no constantes y movimientos conjuntos de la media y volatilidad entre distintos activos. Estas características se pueden detectar fácilmente mediante estadísticas descriptivas tradicionales. Para efectos comparativos hacemos la estadística descriptiva de las series de rendimientos considerando las series completas y divididas por periodos. Las Tablas 1,2, y 3 muestran dichas estadísticas descriptivas.

La Tabla 1 muestra la estadística descriptiva de las series bursátiles considerando todo el periodo analizado (1474 observaciones). La misma esta integrada por seis columnas. La primera columna muestra el rendimiento diario promedio. La segunda muestra la desviación estándar de los rendimientos diarios (estimador estático de la volatilidad). La tercera columna muestra el coeficiente de asimetría, también conocido como sesgo. La cuarta columna muestra la curtosis o ancho de colas. La quinta columna muestra el estimador Jarque-Bera. La sexta columna muestra el p-value asociado a dicho estimador. La hipótesis nula asociada a los estimadores Jarque-Bera es que los rendimientos se distribuyen normalmente.

| Activo Bursátil | Media | Desv. Est. | Coef. Asim. | Curtosis | Jarque-Bera | P-value |
|---------------------|---------|------------|-------------|----------|-------------|---------|
| Alfa | 0.0008 | 0.0232 | 0.5995 | 15.3499 | 9455.48 | 0.000 |
| America Movil | 0.0005 | 0.0206 | 0.1651 | 8.8043 | 2075.84 | 0.000 |
| Ara Consorcio | -0.0004 | 0.0249 | -0.5309 | 22.5045 | 23433.61 | 0.000 |
| Arca Continental | 0.0010 | 0.0131 | 0.9363 | 10.5682 | 3733.20 | 0.000 |
| Asureste | 0.0006 | 0.0199 | -0.0110 | 6.0422 | 568.43 | 0.000 |
| Axtel | 0.0000 | 0.0261 | 0.5217 | 11.0216 | 4018.77 | 0.000 |
| Bimbo | 0.0008 | 0.0191 | 0.2082 | 6.9193 | 954.06 | 0.000 |
| Cemex | -0.0008 | 0.0315 | 0.1026 | 12.2184 | 5221.69 | 0.000 |
| Comercial Mexicana | 0.0002 | 0.0494 | -15.8327 | 458.7354 | 12817500.96 | 0.000 |
| Elektra Gpo | 0.0015 | 0.0221 | 0.5115 | 10.4835 | 3503.79 | 0.000 |
| Fomento Econ Mex | 0.0010 | 0.0200 | -0.2279 | 9.9465 | 2976.34 | 0.000 |
| GCarso | 0.0009 | 0.0250 | 0.7465 | 11.7636 | 4853.74 | 0.000 |
| Geo Corporacion | -0.0003 | 0.0286 | -0.1569 | 8.5952 | 1928.76 | 0.000 |
| GFBanorte | 0.0006 | 0.0289 | 0.1275 | 15.6659 | 9856.70 | 0.000 |
| GFinbursa | 0.0009 | 0.0213 | 0.7583 | 11.0839 | 4154.80 | 0.000 |
| GMexico | 0.0013 | 0.0298 | -0.2175 | 8.6720 | 1987.51 | 0.000 |
| GModelo | 0.0006 | 0.0189 | -0.0098 | 6.2264 | 639.35 | 0.000 |
| Gruma | -0.0001 | 0.0353 | -10.4513 | 285.9615 | 4944294.85 | 0.000 |
| Homex Desarr | 0.0000 | 0.0291 | -0.0528 | 15.3100 | 9307.49 | 0.000 |
| Ica Soc Controlad | 0.0001 | 0.0274 | 0.4896 | 26.4970 | 33967.61 | 0.000 |
| Industrias Ch | 0.0004 | 0.0209 | -0.2377 | 7.9922 | 1544.49 | 0.000 |
| Kimberly Clark Mex | 0.0006 | 0.0177 | 0.2807 | 8.5359 | 1901.56 | 0.000 |
| Mexichem | 0.0018 | 0.0235 | -0.2381 | 16.3150 | 10902.51 | 0.000 |
| Penoles Industrias | 0.0015 | 0.0307 | 0.0095 | 7.9709 | 1517.62 | 0.000 |
| Soriana Organizacio | 0.0005 | 0.0213 | -0.2412 | 7.4694 | 1241.14 | 0.000 |
| Telefs de Mex | 0.0004 | 0.0172 | -0.1083 | 5.6819 | 444.62 | 0.000 |
| Televisa Gpo | 0.0002 | 0.0188 | 0.6482 | 8.5915 | 2023.39 | 0.000 |
| TV Azteca | 0.0005 | 0.0174 | 0.6157 | 7.7903 | 1502.42 | 0.000 |
| Urbi Desarrollos | 0.0000 | 0.0282 | -0.4307 | 12.7667 | 5903.97 | 0.000 |
| Wal Mart de Mexico | 0.0006 | 0.0191 | 0.0877 | 7.0962 | 1032.41 | 0.000 |
| IPC | 0.0005 | 0.0151 | 0.1961 | 8.6068 | 1940.14 | 0.000 |

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de los rendimientos de los activos para el periodo del 7 de diciembre de 2005 al 1 de agosto de 2011 y prueba de normalidad de Jarque-Bera.

La Tabla 1 muestra que todas las series de rendimientos bursátiles muestran curtosis leptocúrticas, y son asimétricas en sus distribuciones, por lo que son no normales. En todos los casos las curtosis estimadas son mayores a 3. En diecisiete series hallamos que el sesgo es positivo y en catorce, negativo. Por tanto, la evidencia sugiere que ninguna de las series se distribuye de manera simétrica. Este resultado se confirma mediante las pruebas de Jarque-Bera. De hecho, las mismas rechazan la hipótesis nula de normalidad en todos los casos. Así el

análisis, en principio, justifica la conveniencia de usar modelos de la familia ARCH para describir el comportamiento de los rendimientos bursátiles mexicanos.

La Tabla 2 muestra la estadística descriptiva considerando el periodo del 6 de diciembre de 2005 al 9 de agosto de 2007 (437 observaciones). Esta tabla, lo mismo que la anterior, muestra que todas las series de rendimientos tienen curtosis leptocúrticas, y son asimétricas en sus distribuciones, por lo que son no normales.. En este contexto, cabe señalar que los rendimientos promedio estimados en la Tabla 2 son generalmente mayores que los estimados en la Tabla 1. Asimismo las desviaciones estándar de los rendimientos son generalmente menores. Estos hechos sugieren la existencia de variaciones en la medias y en las varianzas de los activos bursátiles. Más aun, sugieren la existencia de clusters de volatilidad en las series.

| Activo Bursátil | Media | Desv. Est. | Coef. Asim. | Curtosis | Jarque-Bera | P-value |
|---------------------|--------|------------|-------------|----------|-------------|---------|
| Alfa | 0.0006 | 0.0165 | -0.0831 | 4.5349 | 43.40 | 0.000 |
| America Movil | 0.0017 | 0.0187 | 0.0018 | 4.3422 | 32.80 | 0.000 |
| Ara Consorcio | 0.0009 | 0.0194 | -0.0509 | 4.7580 | 56.46 | 0.000 |
| Arca Continental | 0.0013 | 0.0133 | 0.2485 | 4.7937 | 63.08 | 0.000 |
| Asureste | 0.0012 | 0.0167 | 0.0747 | 5.5909 | 122.63 | 0.000 |
| Axtel | 0.0029 | 0.0185 | 1.0725 | 7.7286 | 490.90 | 0.000 |
| Bimbo | 0.0012 | 0.0166 | 0.1662 | 4.0097 | 20.58 | 0.000 |
| Cemex | 0.0006 | 0.0178 | 0.2542 | 4.5799 | 50.16 | 0.000 |
| Comercial Mexicana | 0.0015 | 0.0196 | -0.1103 | 4.5438 | 44.28 | 0.000 |
| Elektra Gpo | 0.0019 | 0.0178 | 0.5883 | 5.4487 | 134.38 | 0.000 |
| Fomento Econ Mex | 0.0012 | 0.0160 | -0.3290 | 5.1389 | 91.18 | 0.000 |
| GCarso | 0.0014 | 0.0192 | 0.3179 | 3.8686 | 21.10 | 0.000 |
| Geo Corporacion | 0.0010 | 0.0212 | 0.0922 | 3.7537 | 10.96 | 0.004 |
| GFBanorte | 0.0017 | 0.0215 | 0.0453 | 4.5564 | 44.26 | 0.000 |
| GFinbursa | 0.0013 | 0.0172 | -0.4161 | 5.2055 | 101.18 | 0.000 |
| GMexico | 0.0027 | 0.0225 | -0.0406 | 4.8726 | 63.97 | 0.000 |
| GModelo | 0.0013 | 0.0170 | 0.2249 | 4.7654 | 60.43 | 0.000 |
| Gruma | 0.0006 | 0.0178 | -0.1043 | 4.9672 | 71.26 | 0.000 |
| Homex Desarr | 0.0014 | 0.0201 | -0.1786 | 5.8623 | 151.50 | 0.000 |
| Ica Soc Controlad | 0.0024 | 0.0207 | 0.1343 | 4.5268 | 43.76 | 0.000 |
| Industrias Ch | 0.0017 | 0.0185 | -0.2309 | 5.4543 | 113.56 | 0.000 |
| Kimberly Clark Mex | 0.0005 | 0.0153 | 0.3671 | 4.6168 | 57.41 | 0.000 |
| Mexichem | 0.0025 | 0.0165 | 0.9335 | 9.0707 | 734.49 | 0.000 |
| Penoles Industrias | 0.0019 | 0.0231 | -0.1727 | 5.9539 | 161.05 | 0.000 |
| Soriana Organizacio | 0.0020 | 0.0184 | 0.1435 | 5.0146 | 75.40 | 0.000 |
| Telefs de Mex | 0.0010 | 0.0156 | 0.0085 | 3.7831 | 11.17 | 0.004 |
| Televisa Gpo | 0.0007 | 0.0157 | 0.1150 | 4.4771 | 40.69 | 0.000 |
| TV Azteca | 0.0007 | 0.0180 | 0.8691 | 8.8967 | 688.13 | 0.000 |
| Urbi Desarrollos | 0.0013 | 0.0216 | 0.0622 | 4.0992 | 22.28 | 0.000 |
| Wal Mart de Mexico | 0.0007 | 0.0185 | 0.2962 | 4.9800 | 77.77 | 0.000 |
| IPC | 0.0012 | 0.0133 | -0.1387 | 5.9767 | 162.74 | 0.000 |

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de los rendimientos de los activos para el periodo del 7 de diciembre de 2005 al 9 de agosto de 2007 y prueba de normalidad de Jarque-Bera.

La Tabla 3 muestra la estadística descriptiva considerando el periodo del 10 de agosto de 2007 al 1 de agosto de 2011 (1037 observaciones). Esta tabla, confirma que todas las series de rendimientos muestran curtosis leptocúrticas, y son asimétricas en sus distribuciones, por lo que son no normales. Nuevamente, los valores del rendimiento diario promedio y de la desviación estándar sugieren variaciones en la medias y en las varianzas de los activos. Sin embargo, cabe

señalar que las variaciones tienen una dirección *opuesta* a las indicadas en la Tabla 2. Este hecho confirma la existencia de movimientos conjuntos de las medias y varianzas de los activos; así como de clusters de volatilidad y volatilidades no constantes y asimétricas en las series de rendimientos.

| Activo Bursátil | Media | Desv. Est. | Coef. Asim. | Curtosis | Jarque-Bera | P-value |
|---------------------|---------|------------|-------------|----------|-------------|---------|
| Alfa | 0.0008 | 0.0255 | 0.6470 | 14.6115 | 5897.96 | 0.000 |
| America Movil | 0.0000 | 0.0213 | 0.2268 | 9.8259 | 2022.07 | 0.000 |
| Ara Consorcio | -0.0009 | 0.0268 | -0.5643 | 23.0291 | 17388.62 | 0.000 |
| Arca Continental | 0.0009 | 0.0131 | 1.2376 | 13.1652 | 4729.53 | 0.000 |
| Asureste | 0.0004 | 0.0211 | -0.0163 | 5.8611 | 353.74 | 0.000 |
| Axtel | -0.0013 | 0.0287 | 0.5150 | 10.2764 | 2333.58 | 0.000 |
| Bimbo | 0.0006 | 0.0201 | 0.2232 | 7.2776 | 799.22 | 0.000 |
| Cemex | -0.0013 | 0.0357 | 0.1216 | 10.3854 | 2359.34 | 0.000 |
| Comercial Mexicana | -0.0004 | 0.0576 | -14.2445 | 354.7018 | 5379686.76 | 0.000 |
| Elektra Gpo | 0.0014 | 0.0236 | 0.4941 | 10.5761 | 2522.24 | 0.000 |
| Fomento Econ Mex | 0.0009 | 0.0215 | -0.1982 | 9.9806 | 2112.26 | 0.000 |
| GCarso | 0.0007 | 0.0271 | 0.7985 | 11.7645 | 3429.33 | 0.000 |
| Geo Corporacion | -0.0009 | 0.0312 | -0.1545 | 8.2876 | 1212.15 | 0.000 |
| GFBanorte | 0.0001 | 0.0315 | 0.1577 | 15.3696 | 6615.48 | 0.000 |
| GFinbursa | 0.0007 | 0.0228 | 0.9604 | 11.2894 | 3128.47 | 0.000 |
| GMexico | 0.0008 | 0.0324 | -0.2082 | 8.3475 | 1243.05 | 0.000 |
| GModelo | 0.0003 | 0.0196 | -0.0626 | 6.4481 | 514.41 | 0.000 |
| Gruma | -0.0004 | 0.0404 | -9.8378 | 234.9468 | 2341306.75 | 0.000 |
| Homex Desarr | -0.0006 | 0.0322 | -0.0030 | 14.2432 | 5461.93 | 0.000 |
| Ica Soc Controlad | -0.0008 | 0.0298 | 0.5750 | 26.7842 | 24499.59 | 0.000 |
| Industrias Ch | -0.0001 | 0.0219 | -0.2168 | 8.3529 | 1246.21 | 0.000 |
| Kimberly Clark Mex | 0.0007 | 0.0186 | 0.2530 | 9.0065 | 1569.95 | 0.000 |
| Mexichem | 0.0015 | 0.0259 | -0.3336 | 15.1054 | 6351.07 | 0.000 |
| Penoles Industrias | 0.0014 | 0.0334 | 0.0414 | 7.5121 | 879.98 | 0.000 |
| Soriana Organizacio | -0.0001 | 0.0225 | -0.2996 | 7.6694 | 957.59 | 0.000 |
| Telefs de Mex | 0.0001 | 0.0178 | -0.1301 | 6.0515 | 405.26 | 0.000 |
| Televisa Gpo | 0.0000 | 0.0200 | 0.7568 | 8.9022 | 1604.17 | 0.000 |
| TV Azteca | 0.0003 | 0.0172 | 0.4913 | 7.2010 | 804.26 | 0.000 |
| Urbi Desarrollos | -0.0005 | 0.0306 | -0.4643 | 12.7044 | 4106.37 | 0.000 |
| Wal Mart de Mexico | 0.0005 | 0.0194 | 0.0132 | 7.8013 | 996.11 | 0.000 |
| IPC | 0.0002 | 0.0157 | 0.2961 | 8.9917 | 1566.34 | 0.000 |

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los rendimientos de los activos para el periodo del 10 de agosto de 2007 al 1 de agosto de 2011 y prueba de normalidad de Jarque-Bera.

Finalizamos esta sección indicando que el análisis de estadística descriptiva justifica la conveniencia de describir las series de rendimientos usando modelos ARCH. Todas las series tienden a mostrar curtosis excesivas, clusters de volatilidad, asimetrías, distribuciones no normales, volatilidades no constantes y movimientos conjuntos de medias y varianzas. Asimismo, el análisis comparativo muestra cambios en la estructura de los rendimientos. Los resultados sugieren que, a partir de agosto de 2007, las medias de los mismos disminuyeron. Paralelamente las varianzas aumentaron. Por tanto la evidencia sugiere que la crisis global tuvo efectos negativos en el mercado bursátil mexicano.⁸

5. Análisis econométrico

Los modelos TGARCH y EGARCH comparten una estructura similar para efectos de estimación econométrica. En ambos modelos, las especificaciones de las medias requieren estimar los coeficientes ϕ_{i0} y ϕ_{i1} . Asimismo, las especificaciones de las varianzas requieren estimar, en añadidura a los dos anteriores, los coeficientes α_{i0} , α_{i1} , γ_i y β_i . La significancia individual y los signos de los seis coeficientes estimados definen la conveniencia de usar cada modelo. Por comparabilidad, los rendimientos de cada activo se describen usando ambos modelos. Estas estimaciones econométricas están sintetizadas en las Tablas 4 y 5. La comparación econométrica de los modelos se sintetiza en la Tabla 6.

La Tabla 4 muestra las estimaciones del modelo AR(1)-TGARCH(1,1) para las series completas de rendimientos bursátiles (del 7 de diciembre de 2005 al 1 de agosto de 2011). Estas

⁸ La media de los rendimientos diarios del mercado bursátil mexicano (medido con base en IPC), se redujo de 0.0012 a 0.0002 entre los periodos de calma e inestabilidad financiera global. La desviación estándar diaria se incremento de 0.0133 a 0.0157 en el mismo lapso.

estimaciones se sintetizan en seis pares de columnas. Cada par de columnas se refiere a las estimaciones relativas a un coeficiente determinado. Los primeros dos pares se refieren a los coeficientes ϕ_{i0} y ϕ_{i1} , respectivamente. Los siguientes cuatro se refieren a los coeficientes α_{i0} , α_{i1} , γ_i y β_i . En cada par, la columna de la izquierda muestra los coeficientes estimados. La de la derecha muestra los “p-values” asociados a los estadísticos z ajustados mediante los estimadores robustos de Bollerslev-Wooldridge.

| Activo Bursátil | ϕ_0 | | ϕ_1 | | α_0 | | α_1 | | γ | | β | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. |
| Alfa | 0.0007 | (0.1255) | 0.0471 | (0.1107) | 4.50E-06 | (4.86E-02) | 0.0297 | (0.0600) | 0.0500 | (0.0949) | 0.9370 | (0.0000) |
| America Movil | 0.0002 | (0.5784) | 0.0262 | (0.3596) | 9.56E-07 | (2.38E-01) | 0.0188 | (0.0925) | 0.0501 | (0.0160) | 0.9550 | (0.0000) |
| Ara Consorcio | -0.0002 | (0.7282) | 0.0577 | (0.0850) | 6.62E-06 | (2.22E-02) | 0.0351 | (0.0787) | 0.0962 | (0.0377) | 0.9124 | (0.0000) |
| Arca Continental | 0.0007 | (0.0103) | 0.0521 | (0.1484) | 2.27E-05 | (8.57E-04) | 0.2445 | (0.0008) | 0.0789 | (0.5124) | 0.6368 | (0.0000) |
| Asureste | 0.0006 | (0.2135) | 0.0355 | (0.2224) | 2.70E-06 | (1.06E-01) | 0.0136 | (0.2293) | 0.0396 | (0.0834) | 0.9592 | (0.0000) |
| Axtel | 0.0004 | (0.3814) | 0.0882 | (0.0052) | 1.34E-05 | (8.56E-02) | 0.0315 | (0.0313) | 0.0841 | (0.0745) | 0.9084 | (0.0000) |
| Bimbo | 0.0007 | (0.1043) | -0.0137 | (0.6383) | 7.56E-06 | (4.93E-02) | 0.0397 | (0.0112) | 0.0524 | (0.0823) | 0.9132 | (0.0000) |
| Cemex | -0.0005 | (0.3286) | 0.0766 | (0.0056) | 7.05E-06 | (3.32E-02) | 0.0258 | (0.0572) | 0.0675 | (0.0079) | 0.9314 | (0.0000) |
| Comercial Mexicana | 0.0005 | (0.3714) | 0.0393 | (0.2350) | 4.94E-05 | (2.22E-03) | 0.1379 | (0.0002) | 0.2155 | (0.0604) | 0.7073 | (0.0000) |
| Elektra Gpo | 0.0012 | (0.0066) | 0.1773 | (0.0000) | 3.80E-06 | (1.16E-01) | 0.0722 | (0.0000) | 0.0269 | (0.3409) | 0.9163 | (0.0000) |
| Fomento Econ Mex | 0.0012 | (0.0052) | 0.0588 | (0.1437) | 1.32E-05 | (3.74E-03) | 0.0700 | (0.0333) | 0.0808 | (0.1597) | 0.8624 | (0.0000) |
| GCarso | 0.0011 | (0.0634) | 0.0030 | (0.9306) | 3.85E-05 | (1.82E-02) | 0.0680 | (0.0781) | 0.1119 | (0.0413) | 0.8159 | (0.0000) |
| Geo Corporacion | -0.0003 | (0.5691) | 0.1611 | (0.0000) | 1.42E-05 | (1.02E-03) | 0.0428 | (0.0484) | 0.1198 | (0.0021) | 0.8797 | (0.0000) |
| GFBanorte | 0.0003 | (0.6244) | 0.0656 | (0.0360) | 1.62E-05 | (1.42E-03) | 0.0605 | (0.0083) | 0.1280 | (0.0153) | 0.8575 | (0.0000) |
| GFinbursa | 0.0007 | (0.1534) | -0.0290 | (0.3424) | 2.43E-06 | (2.82E-01) | 0.0034 | (0.6557) | 0.0454 | (0.0324) | 0.9702 | (0.0000) |
| GMexico | 0.0012 | (0.0381) | 0.0976 | (0.0007) | 1.57E-05 | (1.36E-02) | 0.0491 | (0.0132) | 0.0871 | (0.0026) | 0.8875 | (0.0000) |
| GModelo | 0.0005 | (0.2138) | -0.0046 | (0.8823) | 1.35E-05 | (2.35E-03) | 0.0724 | (0.0022) | 0.0601 | (0.1096) | 0.8610 | (0.0000) |
| Gruma | 0.0002 | (0.7561) | 0.1568 | (0.0000) | 2.50E-03 | (1.28E-01) | 0.1236 | (0.2744) | -0.0698 | (0.0000) | -0.4307 | (0.3833) |
| Homex Desarr | -0.0001 | (0.8021) | 0.1024 | (0.0007) | 1.50E-05 | (5.29E-03) | 0.0277 | (0.0995) | 0.0960 | (0.0053) | 0.9024 | (0.0000) |
| Ica Soc Controlad | 0.0004 | (0.4070) | 0.0733 | (0.0122) | 1.21E-05 | (7.39E-04) | 0.1373 | (0.1334) | 0.0316 | (0.7297) | 0.8436 | (0.0000) |
| Industrias Ch | 0.0005 | (0.2760) | 0.1270 | (0.0000) | 1.29E-05 | (5.71E-03) | 0.0380 | (0.0349) | 0.0639 | (0.0391) | 0.8996 | (0.0000) |
| Kimberly Clark Mex | 0.0004 | (0.2553) | 0.0765 | (0.0070) | 5.64E-06 | (1.81E-02) | 0.0387 | (0.0343) | 0.0557 | (0.0435) | 0.9171 | (0.0000) |
| Mexichem | 0.0015 | (0.0009) | 0.1614 | (0.0000) | 1.92E-05 | (4.85E-03) | 0.0691 | (0.0488) | 0.1506 | (0.0205) | 0.8246 | (0.0000) |
| Penoles Industrias | 0.0015 | (0.0105) | 0.1301 | (0.0000) | 1.15E-05 | (2.04E-02) | 0.0895 | (0.0002) | -0.0034 | (0.9189) | 0.8988 | (0.0000) |
| Soriana Organizacio | 0.0007 | (0.1545) | 0.0587 | (0.0641) | 7.35E-06 | (6.49E-03) | 0.0647 | (0.0032) | 0.0492 | (0.1007) | 0.8980 | (0.0000) |
| Telefs de Mex | 0.0005 | (0.1948) | 0.0278 | (0.3433) | 5.86E-06 | (1.45E-02) | 0.0382 | (0.0427) | 0.0275 | (0.2207) | 0.9273 | (0.0000) |
| Televisa Gpo | 0.0001 | (0.8545) | 0.0372 | (0.1682) | 3.86E-06 | (2.29E-02) | 0.0003 | (0.9680) | 0.0657 | (0.0005) | 0.9578 | (0.0000) |
| TV Azteca | 0.0004 | (0.2856) | 0.0076 | (0.8121) | 1.16E-05 | (1.27E-02) | 0.0543 | (0.0106) | 0.0532 | (0.2098) | 0.8853 | (0.0000) |
| Urbi Desarrollos | -0.0001 | (0.8758) | 0.0906 | (0.0033) | 5.64E-06 | (1.45E-02) | 0.0454 | (0.0855) | 0.0628 | (0.0667) | 0.9186 | (0.0000) |
| Wal Mart de Mexico | 0.0002 | (0.5501) | 0.0592 | (0.0386) | 5.54E-06 | (1.33E-02) | 0.0218 | (0.1520) | 0.0814 | (0.0041) | 0.9224 | (0.0000) |
| IPC | 0.0003 | (0.3652) | 0.0874 | (0.0009) | 2.14E-06 | (1.96E-02) | 0.0083 | (0.5745) | 0.1352 | (0.0000) | 0.9147 | (0.0000) |

Tabla 4. Parámetros estimados y p-value del modelo AR(1)-TGARCH(1,1) para el periodo del 7 de diciembre de 2005 al 1 de agosto de 2011. Los p-value están asociados a estadísticos z ajustados mediante los estimadores robustos de Bollerslev-Wooldridge.

La Tabla 4 sugiere que hay efectos asimétricos significativos en 30 de las series de rendimientos con base en las estimaciones de los modelos AR(1)-TGARCH(1,1). Particularmente, en 29 series hay efectos apalancamiento $\gamma_i > 0$.⁹ De hecho, las estimaciones asociadas a las especificaciones de las varianzas son, en la mayoría de los casos, satisfactorias. Los coeficientes α_{i0} , α_{i1} , γ_i y β_i , son significativos y, en su gran mayoría, positivos para un total de 31, 34, 22 y 30 series, respectivamente.¹⁰ Asimismo, los coeficientes ϕ_{i0} y ϕ_{i1} son significativos y positivos para un total de 7 y 18 series, respectivamente. Estos hechos son consistentes con las predicciones teóricas del modelo TGARCH.

La Tabla 5 sugiere que hay efectos asimétricos estadísticamente significativos en 18 de las series de rendimientos bursátiles con base en las estimaciones de los modelos AR(1)-EGARCH(1,1). En las 18 series hay efectos apalancamiento $\gamma_i < 0$. Nuevamente las estimaciones de las especificaciones de las varianzas son satisfactorias. Los coeficientes α_{i0} , α_{i1} , γ_i y β_i , son significativos para un total de 31, 30, 18 y 30 series. Asimismo, la gran mayoría de los coeficientes α_{i0} , α_{i1} y β_i son positivos. También debe señalarse que los coeficientes ϕ_{i0} y ϕ_{i1} son significativos y positivos para un total de 8 y 22 series. Estos hechos también son consistentes con las predicciones postuladas teóricamente.

⁹ Las excepciones se refieren a las acciones de Gruma y Peñoles Industrias. La evidencia sugiere que, para las acciones de Gruma, las malas noticias reducen la volatilidad $\gamma_i < 0$. En las acciones de Peñoles, existe simetría $\gamma_i = 0$.

¹⁰ El nivel de significancia considerado es 0.10.

| Activo Bursátil | ϕ_0 | | ϕ_1 | | α_0 | | α_1 | | γ | | β | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. | Coef. | Prob. |
| Alfa | 0.0007 | (0.1100) | 0.0684 | (0.0249) | -2.56E-01 | (1.12E-04) | 0.1651 | (0.0001) | -0.0412 | (0.1172) | 0.9828 | (0.0000) |
| America Movil | 0.0001 | (0.7488) | 0.0219 | (0.4265) | -1.34E-01 | (2.69E-04) | 0.1024 | (0.0000) | -0.0522 | (0.0037) | 0.9927 | (0.0000) |
| Ara Consorcio | -0.0006 | (0.2562) | 0.0656 | (0.0351) | -2.53E-01 | (3.15E-04) | 0.1579 | (0.0000) | -0.0788 | (0.0166) | 0.9814 | (0.0000) |
| Arca Continental | 0.0005 | (0.0442) | 0.0742 | (0.0308) | -1.59E+00 | (1.06E-03) | 0.4187 | (0.0000) | -0.0224 | (0.6873) | 0.8507 | (0.0000) |
| Asureste | 0.0005 | (0.2296) | 0.0401 | (0.1779) | -8.68E-02 | (3.95E-02) | 0.0560 | (0.0056) | -0.0443 | (0.0139) | 0.9944 | (0.0000) |
| Axtel | 0.0010 | (0.1633) | 0.0723 | (0.0211) | -2.98E-01 | (2.07E-02) | 0.1512 | (0.0000) | -0.0462 | (0.1760) | 0.9747 | (0.0000) |
| Bimbo | 0.0009 | (0.0358) | -0.0234 | (0.4236) | -2.85E-01 | (1.22E-02) | 0.1391 | (0.0000) | -0.0343 | (0.1308) | 0.9774 | (0.0000) |
| Cemex | -0.0005 | (0.3695) | 0.0834 | (0.0018) | -1.42E-01 | (2.12E-04) | 0.1128 | (0.0000) | -0.0537 | (0.0029) | 0.9922 | (0.0000) |
| Comercial Mexicana | 0.0002 | (0.6807) | 0.0784 | (0.0184) | -5.97E-01 | (5.99E-05) | 0.3371 | (0.0026) | -0.0992 | (0.1647) | 0.9521 | (0.0000) |
| Elektra Gpo | 0.0010 | (0.0285) | 0.1824 | (0.0000) | -2.05E-01 | (6.05E-02) | 0.1519 | (0.0000) | -0.0177 | (0.3430) | 0.9873 | (0.0000) |
| Fomento Econ Mex | 0.0012 | (0.0078) | 0.0452 | (0.1984) | -2.65E-01 | (2.04E-03) | 0.1467 | (0.0000) | -0.0441 | (0.0654) | 0.9800 | (0.0000) |
| GCarso | 0.0011 | (0.0470) | 0.0126 | (0.7060) | -6.59E-01 | (2.35E-02) | 0.2311 | (0.0002) | -0.0677 | (0.0776) | 0.9348 | (0.0000) |
| Geo Corporacion | -0.0004 | (0.4466) | 0.1648 | (0.0000) | -2.75E-01 | (2.02E-06) | 0.1620 | (0.0000) | -0.0846 | (0.0005) | 0.9795 | (0.0000) |
| GFBanorte | 0.0002 | (0.7319) | 0.0865 | (0.0079) | -3.96E-01 | (8.22E-07) | 0.2449 | (0.0000) | -0.0853 | (0.0149) | 0.9714 | (0.0000) |
| GFIInbursa | 0.0007 | (0.1471) | -0.0383 | (0.2275) | -8.06E-02 | (7.88E-02) | 0.0519 | (0.0003) | -0.0378 | (0.1069) | 0.9944 | (0.0000) |
| GMexico | 0.0013 | (0.0351) | 0.0941 | (0.0010) | -2.65E-01 | (9.88E-05) | 0.1674 | (0.0000) | -0.0523 | (0.0059) | 0.9811 | (0.0000) |
| GModelo | 0.0004 | (0.3264) | -0.0169 | (0.5869) | -2.37E-01 | (3.50E-05) | 0.1283 | (0.0000) | -0.0412 | (0.0442) | 0.9822 | (0.0000) |
| Gruma | -0.0014 | (0.4914) | 0.1886 | (0.0001) | -9.51E+00 | (1.81E-01) | 0.1925 | (0.5539) | 0.0675 | (0.6656) | -0.3956 | (0.7349) |
| Homex Desarr | -0.0003 | (0.6074) | 0.0927 | (0.0019) | -2.45E-01 | (3.08E-04) | 0.1384 | (0.0002) | -0.0670 | (0.0232) | 0.9807 | (0.0000) |
| Ica Soc Controlad | 0.0007 | (0.1705) | 0.0688 | (0.0328) | -3.65E-01 | (1.37E-05) | 0.2623 | (0.0000) | -0.0151 | (0.7685) | 0.9772 | (0.0000) |
| Industrias Ch | 0.0005 | (0.3065) | 0.1271 | (0.0000) | -3.59E-01 | (5.94E-04) | 0.1476 | (0.0000) | -0.0513 | (0.0470) | 0.9681 | (0.0000) |
| Kimberly Clark Mex | 0.0004 | (0.3376) | 0.0800 | (0.0056) | -2.37E-01 | (2.42E-03) | 0.1222 | (0.0001) | -0.0432 | (0.0364) | 0.9819 | (0.0000) |
| Mexichem | 0.0015 | (0.0010) | 0.1466 | (0.0000) | -5.61E-01 | (6.20E-03) | 0.2712 | (0.0001) | -0.0711 | (0.1014) | 0.9533 | (0.0000) |
| Penoles Industrias | 0.0015 | (0.0100) | 0.1354 | (0.0000) | -2.97E-01 | (1.25E-05) | 0.1930 | (0.0000) | -0.0091 | (0.7141) | 0.9791 | (0.0000) |
| Soriana Organizacio | 0.0006 | (0.1726) | 0.0533 | (0.0936) | -3.03E-01 | (1.12E-03) | 0.1791 | (0.0000) | -0.0458 | (0.0450) | 0.9781 | (0.0000) |
| Telefs de Mex | 0.0005 | (0.2207) | 0.0271 | (0.3629) | -2.44E-01 | (2.25E-03) | 0.1151 | (0.0000) | -0.0275 | (0.1313) | 0.9808 | (0.0000) |
| Televisa Gpo | 0.0001 | (0.8219) | 0.0441 | (0.0976) | -1.17E-01 | (5.97E-04) | 0.0562 | (0.0580) | -0.0580 | (0.0002) | 0.9906 | (0.0000) |
| TV Azteca | 0.0004 | (0.3057) | 0.0040 | (0.9036) | -6.35E-01 | (4.93E-03) | 0.2138 | (0.0000) | -0.0111 | (0.8065) | 0.9412 | (0.0000) |
| Urbi Desarrollos | -0.0001 | (0.8310) | 0.1000 | (0.0009) | -2.14E-01 | (1.22E-06) | 0.1603 | (0.0000) | -0.0476 | (0.0560) | 0.9874 | (0.0000) |
| Wal Mart de Mexico | 0.0003 | (0.5139) | 0.0603 | (0.0359) | -1.93E-01 | (5.26E-04) | 0.1095 | (0.0000) | -0.0656 | (0.0019) | 0.9863 | (0.0000) |
| IPC | 0.0003 | (0.3227) | 0.0995 | (0.0004) | -2.43E-01 | (5.00E-04) | 0.1407 | (0.0000) | -0.1134 | (0.0000) | 0.9844 | (0.0000) |

Tabla 5. Parámetros estimados y p-value del modelo AR(1)-EGARCH(1,1) para el periodo del 7 de diciembre de 2005 al 1 de agosto de 2011. Los p-value están asociados a estadísticos z ajustados mediante los estimadores robustos de Bollerslev-Wooldridge.

La Tabla 6 muestra y compara los estimadores de relativa bondad de ajuste de los modelos asimétricos ARCH analizados. Esta evaluación se hace comparando los valores absolutos de los estimadores Log-Likelihood y AIC asociados a cada modelo y serie de rendimientos bursátiles.¹¹ Particularmente, los resultados comparativos sugieren que el modelo EGARCH es el más adecuado para describir los rendimientos agregados del mercado bursátil mexicano (medido vía IPC). A nivel desagregado, los resultados sugieren que los modelos econométricos TGARCH y EGARCH son adecuados para ajustar los rendimientos bursátiles diarios de un total de 19 y 11 acciones, respectivamente.

¹¹ La bondad de ajuste de los modelos econométricos también puede evaluarse mediante los correlogramas de los residuales y de los residuales al cuadrado. Si los correlogramas muestran un comportamiento de ruido blanco, se dice que hay un buen ajuste. Si bien aquí reportamos los valores cuantitativos, debe recordarse que la estructura inicial de los modelos fue determinada mediante dichos correlogramas.

| Activo Bursátil | AR(1)-TGARCH(1,1) | | AR(1)-EGARCH(1,1) | | Bondad de Ajuste |
|---------------------|-------------------|---------|-------------------|---------|------------------|
| | Logl | Akaike | Logl | Akaike | |
| Alfa | 3735.059 | -5.0632 | 3728.9877 | -5.0550 | * |
| America Movil | 3854.695 | -5.2257 | 3868.4137 | -5.2443 | ** |
| Ara Consorcio | 3612.327 | -4.8966 | 3618.4439 | -4.9049 | ** |
| Arca Continental | 4389.021 | -5.9511 | 4395.7612 | -5.9603 | ** |
| Asureste | 3797.345 | -5.1478 | 3800.7833 | -5.1525 | ** |
| Axtel | 3507.29 | -4.7540 | 3492.7995 | -4.7343 | * |
| Bimbo | 3863.625 | -5.2378 | 3857.8539 | -5.2299 | * |
| Cemex | 3385.435 | -4.5885 | 3385.6889 | -4.5889 | ** |
| Comercial Mexicana | 3510.821 | -4.7588 | 3490.0392 | -4.7305 | * |
| Elektra Gpo | 3724.135 | -5.0484 | 3726.7938 | -5.0520 | ** |
| Fomento Econ Mex | 3842.12 | -5.2086 | 3845.3519 | -5.2130 | ** |
| GCarso | 3496.539 | -4.7394 | 3486.3796 | -4.7256 | * |
| Geo Corporacion | 3462.461 | -4.6931 | 3457.1004 | -4.6858 | * |
| GFBanorte | 3479.888 | -4.7168 | 3470.4914 | -4.7040 | * |
| GFinbursa | 3654.412 | -4.9537 | 3653.3117 | -4.9522 | * |
| GMexico | 3344.345 | -4.5327 | 3338.3019 | -4.5245 | * |
| GModelo | 3888.248 | -5.2712 | 3881.01 | -5.2614 | * |
| Gruma | 2836.84 | -3.8436 | 2882.4189 | -3.9055 | ** |
| Homex Desarr | 3437.777 | -4.6596 | 3435.694 | -4.6567 | * |
| Ica Soc Controlad | 3573.616 | -4.8440 | 3576.1064 | -4.8474 | ** |
| Industrias Ch | 3734.127 | -5.0620 | 3726.9589 | -5.0522 | * |
| Kimberly Clark Mex | 3987.703 | -5.4063 | 3983.3024 | -5.4003 | * |
| Mexichem | 3757.303 | -5.0934 | 3745.4919 | -5.0774 | * |
| Penoles Industrias | 3323.846 | -4.5049 | 3321.2145 | -4.5013 | * |
| Soriana Organizacio | 3722.758 | -5.0465 | 3718.994 | -5.0414 | * |
| Telefs de Mex | 4004.349 | -5.4289 | 4005.7452 | -5.4307 | ** |
| Televisa Gpo | 3896.574 | -5.2825 | 3894.5213 | -5.2797 | * |
| TV Azteca | 3970.182 | -5.3825 | 3975.5444 | -5.3897 | ** |
| Urbi Desarrollos | 3453.438 | -4.6808 | 3451.5582 | -4.6783 | * |
| Wal Mart de Mexico | 3897.549 | -5.2838 | 3896.7771 | -5.2828 | * |
| IPC | 4380.887 | -5.9401 | 4382.045 | -5.9417 | ** |

Tabla 6. Estimadores de bondad de ajuste de los modelos AR(1)-TGARCH(1,1) y AR(1)-EGARCH(1,1). Uno y dos asteriscos denotan que el mejor ajuste se obtiene mediante los modelos TGARCH y EGARCH, respectivamente.

La bondad de ajuste de los modelos TGARCH y EGARCH puede visualizarse mediante las Figuras 1, 2 y 3. Particularmente, las Figuras 1 y 2 muestran la bondad de ajuste de los dos modelos considerando las series de rendimientos de las acciones individuales. La Figura 3

muestra la bondad de ajuste de los modelos para el mercado bursátil mexicano. En este contexto, los modelos muestran un comportamiento similar en lo que se refiere al comportamiento de las series de rendimientos. Asimismo las gráficas confirman que los rendimientos de los activos mexicanos no fueron inmunes a la crisis global. Todas las series analizadas manifiestan comportamientos inestables desde mediados el año 2007.

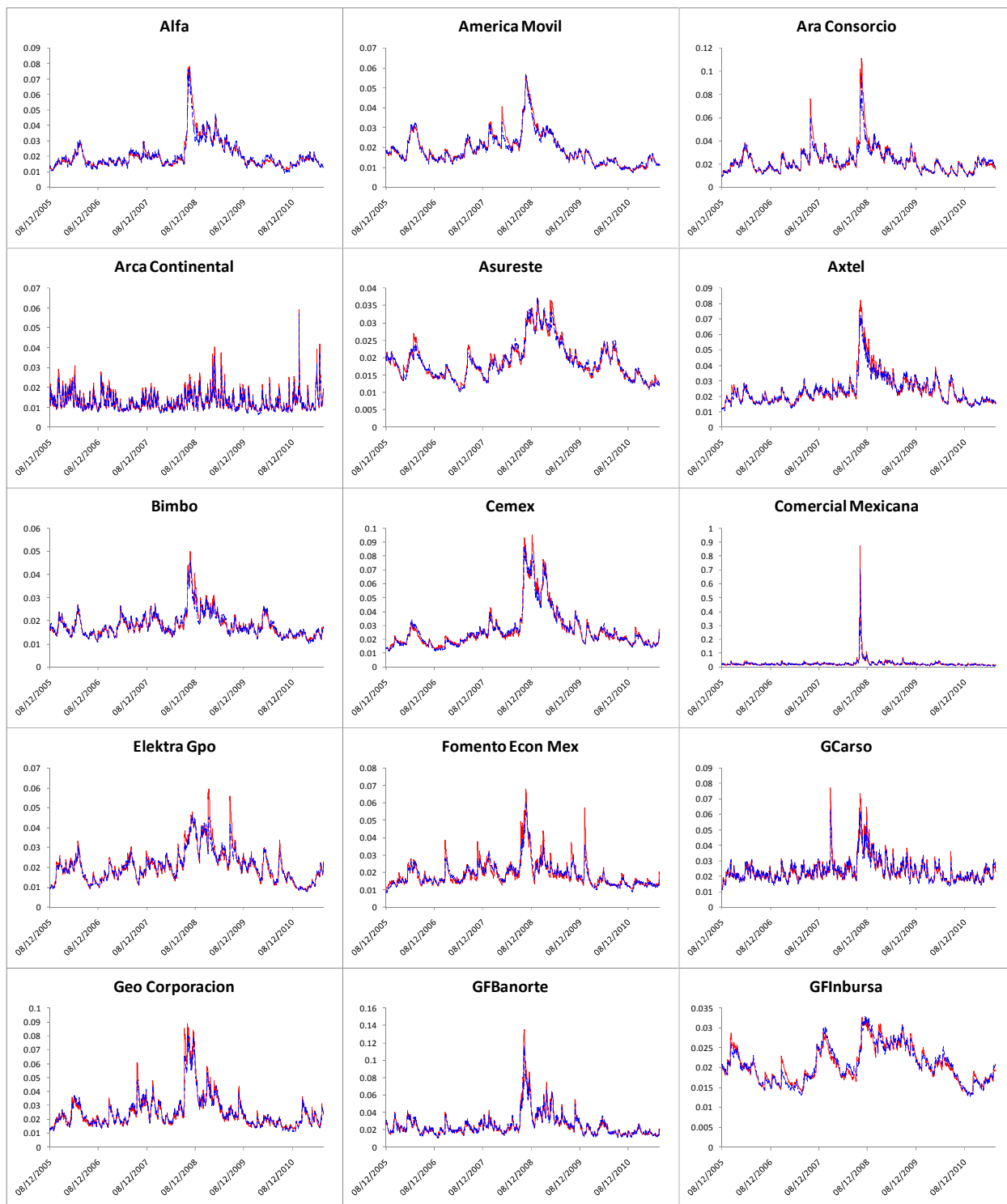


Figura 1. Gráficas de las volatilidades estimadas del modelo TGARCH (Rojo, continuo) y del modelo EGARCH (Azul, segmentada).

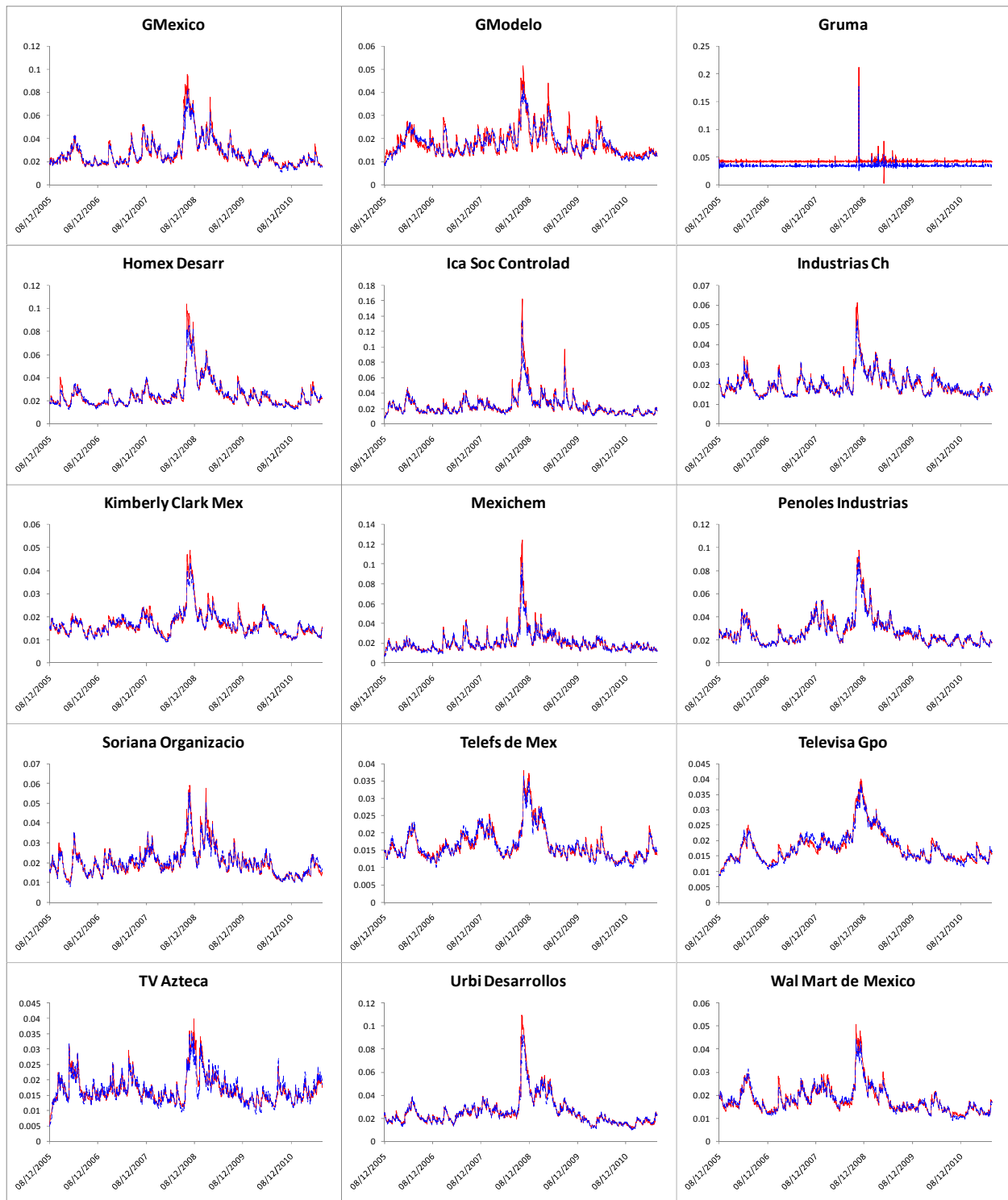


Figura 2. Gráficas de las volatilidades estimadas del modelo TGARCH (Rojo, continuo) y del modelo EGARCH (Azul, segmentada).

Finalizamos esta sección indicando que los resultados del ejercicio de modelación sugieren que hay efectos asimétricos significativos en los rendimientos bursátiles mexicanos. En la mayoría de las series encontramos efectos apalancamiento (las “malas noticias” tienen un impacto mayor que las “buenas”). Asimismo, los resultados comparativos sugieren que el modelo AR(1)-EGARCH(1,1) puede describir adecuadamente los rendimientos agregados del mercado bursátil. A nivel desagregado, los resultados muestran que los modelos AR(1)-TGARCH(1,1) y AR(1)-EGARCH(1,1) podrían describir adecuadamente el comportamiento de 19 y 11 series de rendimientos accionarios, respectivamente.

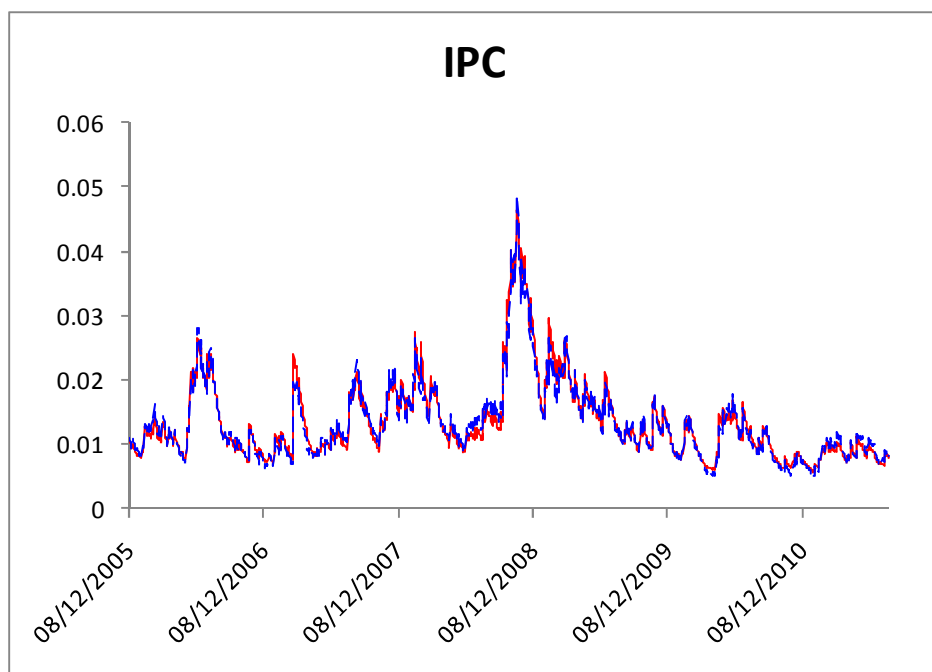


Figura 3. Gráficas de las volatilidades estimadas del modelo TGARCH (Rojo, continuo) y del modelo EGARCH (Azul, segmentada) para el IPC

6. Conclusiones y líneas de investigación futura

En esta investigación hemos desarrollado un ejercicio comparativo de descripción econométrica de los rendimientos de los activos bursátiles mexicanos usando los modelos no lineales TGARCH y EGARCH. Estos modelos los hemos usado para describir las series de rendimientos bursátiles a nivel desagregado (por acción) y agregado (considerando la totalidad del mercado). Para ello hemos modelado las series de rendimientos *diarios* de treinta acciones y del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) durante el periodo comprendido entre el 7 de diciembre de 2005 y el 1 de agosto de 2011. El periodo es particularmente interesante de modelar porque abarca momentos de relativa calma e inestabilidad en los mercados financieros internacionales.

Los resultados del análisis de estadística descriptiva justifican la conveniencia de describir las series de rendimientos bursátiles de los activos mexicanos usando modelos de la familia ARCH. Las series tienden a mostrar curtosis excesivas, clusters de volatilidad, asimetrías, distribuciones no normales, volatilidades no constantes y movimientos conjuntos de medias y varianzas. Asimismo, el análisis comparativo muestra cambios en la estructura de los rendimientos. Los resultados sugieren que, a partir de agosto de 2007, las medias de los mismos disminuyeron. Paralelamente las varianzas aumentaron. Por tanto la evidencia sugiere que la crisis global tuvo efectos negativos en el mercado bursátil mexicano.

Los resultados del ejercicio de modelación econométrica sugieren que hay efectos asimétricos significativos en los rendimientos bursátiles mexicanos. En la mayoría de las series se encontraron efectos apalancamiento (las “malas noticias” tienen un impacto mayor que las “buenas”). Asimismo, los resultados comparativos sugieren que el modelo AR(1)-EGARCH(1,1)

puede describir adecuadamente los rendimientos agregados del mercado bursátil (medidos vía IPC). A nivel desagregado, los resultados muestran que los modelos AR(1)-TGARCH(1,1) y AR(1)-EGARCH(1,1) podrían ajustar adecuadamente el comportamiento de 19 y 11 series de rendimientos accionarios, respectivamente.

Estos resultados tienen implicaciones econométricas y financieras. Desde una perspectiva econométrica, los resultados validan la conveniencia de usar modelos ARCH asimétricos para describir y pronosticar los rendimientos bursátiles. Por tanto los resultados podrían ser usados para justificar el uso extensivo de estos modelos. Desde una perspectiva financiera, los resultados confirman que la información tiene efectos asimétricos sobre los mercados financieros. Una implicación asociada es que eventos de carácter internacional, como son las noticias asociadas a la crisis global, pueden inducir interdependencias, volatilidad e incluso la sincronización de los mercados y activos financieros internacionales.¹²

Finalizamos este trabajo indicando algunas líneas de investigación complementarias al mismo. Una primera se refiere a la evaluación de modelos asimétricos alternativos para efectos de modelar series financieras. Entre estos, consideramos potencialmente relevantes a los modelos PARCH (*Power ARCH*) y ACGARCH (*Asymmetric Component GARCH*). Otra línea se refiere al uso de modelos GARCH multivariados para describir y predecir las variables financieras. Hasta donde sabemos, ninguno de estos modelos se ha usado para modelar los rendimientos

¹² Un trabajo teórico reciente en esta dirección es el de Breuss (2011), quien usa un modelo de “overshooting” para explicar la volatilidad de los activos bursátiles durante la crisis global.

bursátiles en México.¹³ Es nuestra creencia que la exploración de ambas líneas de investigación podría ser de gran utilidad en el contexto de los mercados emergentes.

REFERENCIAS

- Bauwens, L., Laurent, S. y Rombouts, J.V.K. (2006), “Multivariate GARCH models: A survey”, *Journal of Applied Econometrics*, 21(1), 79-109
- Bollerslev, T., (1986), “Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity”, *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327
- Bollerslev, T. (2010), “Glossary to ARCH (GARCH)”, en Bollerslev, T., Russell, J.R. y Watson, M.W. (Eds.), *Volatility and Time Series Econometrics: Essays in Honor of Robert Engle* (pp. 137-163), “Oxford: Oxford University Press.
- Bollerslev, T. y Wooldridge, J.M. (1992), “Quasi-maximum likelihood estimation and inference in dynamic models with time varying covariances”, *Econometric Reviews*, 11(2), 143-172
- Breuss, F. (2011), “Global financial crisis as a phenomenon of stock market overshooting”, *Empirica*, 38(1), 131-152
- Cermeño, R. y Solís, M. (2009), “*Impacto de Noticias Macroeconómicas en el Mercado Accionario Mexicano*. (Documento de Trabajo 471), “México DF.: CIDE,
- Durán-Vázquez, R., Lorenzo-Valdés A. y Ruiz-Porras, A. (2011), “Valuación de acciones mexicanas mediante los modelos de Ohlson y Ohlson-Beta para firmas con ciclos de corto y largo plazos: Un análisis de cointegración”, en López-Herrera, F. y Ortiz-Arango, F

¹³ Véase el trabajo de Bauwens, Laurent y Rombouts (2006), para una revisión y usos de los modelos GARCH multivariados.

- (Coords.), *“Avances Recientes en la Valuación de Activos y Administración de Riesgos. Volumen 3.* Mexico DF: UNAM y Universidad Panamericana. Por publicarse.
- Engle, R. F., (1982), “Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation”, *Econometrica*, 50(4), 987-1007
- Engle R.F., (2004), “Risk and volatility: Econometric models and financial practice”, *American Economic Review*, 94(3), 405-420
- French, K.R., Schwert, G.W. y Stambaugh, R.F. (1987), “Expected stock returns and volatility”, *Journal of Financial Economics*, 19(1), 3-29.
- Guzmán-Plata, M.P. (1998), “Los modelos CAPM y ARCH-M: Obtención de los coeficientes beta para una muestra de 33 acciones que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores”, *Economía, Teoría y Práctica*, 9, 63-76
- López-Herrera, F. (2004), “Modelado de la volatilidad y pronóstico del índice de precios y cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores”, *Contaduría y Administración*, 213, 43-72
- López-Herrera, F. y Vázquez-Téllez, F. J. (2002), “Un modelo de la APT en la selección de portafolios accionarios en el mercado mexicano”, *Contaduría y Administración*, 206, 9-30
- Lorenzo-Valdés, A. (2005), “No linealidad en los mercados accionarios latinoamericanos”, *Análisis Económico*, 20(45), 63-74.
- Markowitz, H. (1952), “Portfolio selection”, *Journal of Finance*, 7(1), 77-91
- Nelson, D.B. (1991), “Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach”, *Econometrica*, 59(2), 347-370
- Poon, SH. y Granger, C.W.J. (2003), “Forecasting volatility in financial markets: A review”, *Journal of Economic Literature*, 41(2), 478-539

- Ruiz-Porras, A. (2010), “Globalización, ciclos económicos y crisis global, 2007-2010”, *Expresión Económica*, 24, 43-61.
- Stiglitz, J. E. (2010), “*Freefall, America, Free Markets and the Sinking of the World Economy*”, Nueva York: W.W. Norton and Company
- Tobin, J. (1958), “Liquidity preference as behavior towards risk”, *Review of Economic Studies*, 25(2), 65-86
- Trejo, B., Nuñez, J.A. y Lorenzo, A. (2006), “Distribución de los rendimientos del mercado mexicano accionario”, *Estudios Económicos*, 21(1), 85-118
- Zakoian, JM. (1994), “Threshold heteroskedastic models”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931-955.