

INCIDENCIA DE LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS DE  
LOS PRECIOS DE LOS MINERALES EN LA  
VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS DE LAS ACCIONES DE  
LA INDUSTRIA MINERA EN MÉXICO (2008-2015)

INCIDENCE OF MINERALS PRICE-VOLATILITY ON THE  
VOLATILITY OF THE STOCK PRICES OF THE MINING INDUSTRY  
IN MEXICO (2008-2015)

Alejandro Fonseca Ramírez<sup>□</sup>

Roberto J. Santillan Salgado<sup>□</sup>

**RESUMEN:** En este trabajo se examina el comportamiento de la volatilidad de los precios internacionales de cinco minerales (oro, plata, cobre, plomo y zinc), y sus efectos de corto y largo plazo sobre el precio de las acciones de las principales empresas mineras cotizadas en la Bolsa Mexicana de Valores, durante el periodo 2008-2015. El análisis utiliza un modelo DCC-AGARCH, el cual muestra que existe una relación tanto de corto como de largo plazo entre la volatilidad de los precios de los minerales, y la volatilidad de los precios de las acciones. Los resultados sugieren que las volatilidades de los precios de los distintos minerales tienen una relación de largo plazo entre sí, y que condicionan a la volatilidad de las acciones de las empresas mineras.

**PALABRAS CLAVE:** Mercados Financieros, Mercados de Commodities, GARCH.

**ABSTRACT:** This paper examines the behavior of the international prices' volatility of five mineral products (gold, silver, copper, lead and zinc), and their effects on the short- and long-term price of shares of major mining companies listed on the Mexican Stock Exchange, during the period 2008-2015. The analysis uses a DCC-AGARCH model, which shows that there is a relationship both short-term and long-term between the volatility of prices of minerals, and the volatility of stock prices. The results suggest that the volatilities of the prices of different minerals have a long-term relationship

---

<sup>□</sup> EGADE Business School, Tecnológico de Monterrey, México. E-mail: [afonseca@tec.mx](mailto:afonseca@tec.mx)

<sup>□</sup> EGADE Business School, Tecnológico de Monterrey, México. E-mail: [roberto.santillan@tec.mx](mailto:roberto.santillan@tec.mx)

Economía coyuntural, Revista de temas de coyuntura y perspectivas, vol.3, núm. 4, pp. 1-30.

with each other, and that they condition the volatility of the stock price of mining companies.

▮ KEYWORDS: Financial Markets, Commodity Markets, GARCH.

▮ CLASIFICACION JEL: G1,C1.

▮ Recepción: 14/01/2019

Aceptación: 26/03/2019

## Introducción

Las profundas transformaciones regulatorias y tecnológicas que han caracterizado a los mercados bursátiles y a los mercados internacionales de commodities en años recientes ha creado las condiciones para que se presente una mayor integración entre ellos. Dicha integración ofrece a los inversionistas nuevas oportunidades para desarrollar estrategias que aumenten el potencial de rendimiento, pero al mismo tiempo reduzcan el riesgo de los portafolios. Por lo tanto, los inversionistas necesitan conocer y comprender mejor las relaciones entre los distintos mercados, de manera que en este trabajo se aborda el estudio de la relación entre el mercado accionario y el mercado internacional de metales.

Numerosos trabajos de investigación han estudiado la dinámica de la volatilidad y las correlaciones entre el precio de las acciones y materias primas como el oro y el petróleo (ver, por ejemplo, Abdullah, Saiti & Masih, 2016; Arouri, Jouini & Nguyen, 2011; Arouri, Jouini, & Nguyen, 2012). Sin embargo, la relación entre la volatilidad de los precios internacionales de los minerales y las acciones de empresas mineras en mercados emergentes es un tema escasamente explorado y, por esa razón, representa una oportunidad de estudio.

El desarrollo de los mercados de commodities ha multiplicado las oportunidades al alcance de los inversionistas para diversificar sus portafolios

de inversión (e.g. Domanski and Heath, 2007; Dwyer et al., 2011; Silvennoinen and Thorp, 2013; Vivian and Wohar, 2012). Tradicionalmente, los participantes principales en los mercados de futuros de commodities eran compañías o individuos que tenían intereses directos en la producción y consumo de cierto commodity, pero con el desarrollo de fondos de inversión vinculados a índices de commodities y ETFs (Exchange Traded Funds), cualquier inversionista puede participar en el mercado, lo cual ha incrementado el número de participantes y la liquidez de estos mercados.

Tradicionalmente, la inversión en commodities se ha definido como una manera de cubrirse contra la inflación (Greer, 1978), pero en tiempos recientes, los commodities han comenzado a ser utilizados para diversificar el riesgo de portafolios, para la especulación, o para cubrirse contra el riesgo de inflación. El razonamiento es que, si estos tienen una correlación baja o incluso negativa con relación a los rendimientos de acciones y bonos cotizados en el mercado, entonces su inclusión en el portafolios de un inversionista debe lograr una mejor diversificación del riesgo. Es decir, en principio los portafolios que incluyen commodities deberían tener un mejor desempeño en términos de rendimiento, y un menor riesgo. En tal sentido, Erb y Harvey (2006) presentan evidencia de un mayor rendimiento y menor riesgo en portafolio que combinan acciones y commodities, en comparación con uno que solo incluye alguno de ellos, y Gorton y Rouwenhorst (2006) reportan que el rendimiento de futuros de los commodities tiene una correlación negativa con el rendimiento de las acciones y, por lo tanto, pueden utilizarse para diversificar el riesgo de un portafolios. O bien, trabajos como el de Ibbotson Asociados (2006) quienes encuentran que al incluir commodities se mejora el conjunto de oportunidades de un portafolio y su frontera eficiente potencial, o el de Hillier et al. (2006), quienes encuentran que al usar commodities (metales preciosos) se logra diversificar un portafolios ante movimientos contrarios del precio de las

acciones de Estados Unidos, los países desarrollados de Europa, Australasia y el Lejano Oriente. Éste último trabajo también reporta que portafolios que incluyen metales preciosos y acciones tienen mejor comportamiento que portafolios con solo acciones. Estos son solo algunos de los trabajos que refuerzan la idea de que combinar una mezcla de commodities con acciones en un portafolios permite lograr una mejor relación riesgo-rendimiento que el que obtiene un portafolio que no los incluya.

Este trabajo representa una contribución original a la literatura financiera ya que los trabajos publicados hasta ahora sobre las relaciones entre la volatilidad de los precios de commodities y los precios de títulos accionarios se refieren únicamente a mercados de países desarrollados. En contraste, aquí se estudia la dinámica de la volatilidad entre el precio de las acciones de compañías mineras de un país emergente, México, y el precio del oro, plata, cobre, aluminio y zinc. La elección de estos minerales se basa en la importancia que tienen para las compañías mineras que operan en México. La demanda de cobre en el tiempo evoluciona de manera similar al ciclo económico global, aunque la demanda de aluminio y zinc sigue una dinámica menos clara. En cuanto a los precios del oro y la plata, éstos se comportan de forma muy parecida a la volatilidad de los mercados financieros y, en menor manera al ciclo económico. (The Mootley Fool.com website, 2018).

El presente trabajo también propone una perspectiva innovadora desde el punto de vista metodológico. Hasta ahora, la mayor parte de los trabajos publicados sobre la dinámica de la volatilidad de distintos precios de mercado se ha basado en la utilización de modelos econométricos bivariados. En contraste, este trabajo emplea los resultados del modelo DCC-AGARCH de Engle (2002) para estudiar las correlaciones dinámicas entre los rendimientos de mercado de las acciones de las compañías mineras mexicanas, y los precios del oro, la plata, el zinc, el cobre y el aluminio. La ventaja principal

consiste en que las correlaciones y la dinámica de la volatilidad entre las variables se incluyen simultáneamente en un modelo GARCH multivariado (MGARCH). El resultado más importante de esta investigación es la identificación del modelo Dynamic Conditional Correlation (DCC) de Engle (2002) como aquel con el cual se logra un mejor ajuste estadístico para las variables mencionadas y, por lo tanto, concluye que sus resultados pueden utilizarse para construir razones de cobertura y ponderaciones óptimas en la construcción de portafolios. En la siguiente sección se presenta una sucinta revisión de la literatura sobre la dinámica entre los precios internacionales de distintos commodities y los títulos accionarios. La tercera sección contiene los principales aspectos metodológicos del estudio; la cuarta sección describe los datos utilizados y las pruebas de estacionariedad de las series; la quinta sección reporta y analiza los resultados de las estimaciones. La sección sexta concluye el trabajo con algunas reflexiones sobre las implicaciones prácticas de los hallazgos reportados.

## 2. Revisión de la literatura

Esta sección revisa algunos ejemplos destacados de trabajos publicados sobre la dinámica de precios de distintos commodities, y su relación con la economía y las finanzas. Un primer grupo de trabajos incluye los trabajos de Hamilton (1983), Cunado y Perez de Garcia (2005), y Kilian (2008), quienes autores reportan que shocks en el precio del petróleo influyen en recesiones, crecimiento económico e inflación, así como en algunas otras variables en la mayoría de los países desarrollados y emergentes, en diferente grado, y a través de distintos mecanismos. El hecho de que la influencia del precio del petróleo difiera de un estudio a otro parece relacionada con los distintos periodos considerados, y sugiere que se trata de relaciones que asumen formas no lineales. Asimismo, dichas relaciones están expuestas a cambios de régimen, y el incremento del precio del petróleo tiene un mayor

efecto que su decremento, por lo cual un modelo no lineal capaz de capturar las asimetrías y la inestabilidad estructural resulta más apropiado. El uso de herramientas econométricas con la capacidad de tomar en consideración tales características ha sido ilustrado en trabajos como los de Hamilton (2003), Zhang (2008), Lardic y Mignon (2008) y Cologni y Manera (2009).

Un segundo grupo de estudios abordan el estudio de la relación entre los precios del petróleo, y los mercados de capital de países desarrollados y emergentes. Por ejemplo, Malik y Hammoudeh (2007) estudian la transmisión de la volatilidad entre el mercado accionario de Estados Unidos, el mercado petrolero mundial, y los mercados accionarios de los países del Golfo Pérsico, y encuentran que existen efectos de propagación de volatilidad entre el mercado petrolero y los mercados accionarios estudiados, y de propagación bidireccional de la volatilidad en el caso de Arabia Saudita. O bien, el trabajo de Malik y Ewing (2009), en el cual se estima un modelo BEKK-GARCH (1,1) para estudiar la transmisión de la volatilidad entre el precio del petróleo y los índices accionarios sectoriales de Estados Unidos, y se concluye que, efectivamente, existe una transmisión significativa de shocks y volatilidad entre el precio del petróleo y algunos sectores industriales. Otras referencias relevantes dentro de este grupo incluyen a Arouri, Jouini, y Nguyen (2011) donde se utilizan datos semanales y un modelo GARCH-Bivariado de enero de 1998 a diciembre del 2009 para estudiar el efecto de propagación entre el petróleo y los mercados accionarios en Europa y un efecto bidireccional de propagación entre el petróleo y algunos sectores accionarios de Estados Unidos. Por su parte, Arouri, Lahiani, y Nguyen (2011) estiman modelos GARCH bivariados con datos para el periodo 2005 a 2010, para determinar el rendimiento y la transmisión de la volatilidad entre precios del petróleo y mercados accionarios en los países del Consejo de Cooperación del Golfo. Los resultados reportados por estos autores muestran que existe propagación

entre estos mercados. De manera similar, Arouri et al. (2012) utilizan un amplio índice del mercado accionario europeo e índices accionarios específicos de sectores industriales con datos diarios y semanales, con observaciones para el periodo comprendido entre enero de 1998 y diciembre de 2009, para investigar la propagación de la volatilidad entre los precios del petróleo y los mercados accionarios de Europa, y encuentran evidencia confirmatoria.

Como ejemplos más recientes del mismo enfoque, Abdullah, Saiti y Masih (2016) estudian el impacto del precio del crudo en los índices accionarios islámicos de países del sur de Asia y encuentran que el mercado de Filipinas no está muy correlacionado con el precio del petróleo, a diferencia de los casos de Malasia y Singapur. O bien, Basher, y Sadorsky (2016) encuentran que el precio del petróleo es el mejor activo para cubrir el comportamiento de los mercados accionarios emergentes.

Otra perspectiva de mucho interés ha sido el tema de propagación de la volatilidad. En esta línea es posible mencionar trabajos como el de Filis et al. (2011), quienes utilizan un modelo GARCH multivariado para analizar las correlaciones cambiantes en el tiempo entre los precios del petróleo y el precio de las acciones de países exportadores e importadores de petróleo, y encuentran que la varianza condicional del precio de las acciones y de los precios del petróleo no cambia mucho entre exportadores e importadores. O bien, el de Chang et al. (2013), quienes estiman un modelo GARCH (1,1) multivariado para estudiar la propagación de la volatilidad entre los precios del petróleo y los precios de las acciones de los mercados de Estados Unidos y el Reino Unido, aunque esta vez no encuentran evidencia significativa. Un ejemplo más dentro de esta perspectiva es el trabajo de Sadorsky (2012), quien utiliza un modelo multivariado GARCH(1,1) para estudiar la propagación de la volatilidad entre el precio de las acciones de compañías que usan energía

limpia, empresas tecnológicas, y precios del petróleo, y encuentran alguna evidencia de la misma. En particular, reportan que los precios de las acciones de compañías “limpias” tienen mayor correlación con los precios de las acciones de compañías tecnológicas que con el precio del petróleo.

Una línea de trabajo distinta se refiere a la transmisión de volatilidad entre mercados accionarios. Por ejemplo, Hwang et al. (2013) utilizan un modelo GARCH-DCC para estimar la correlación condicional dinámica entre las acciones del mercado de Estados Unidos y diez mercados accionarios de países emergentes. Sus resultados muestran un incremento en la correlación en todos los casos. Adicionalmente, las estimaciones del modelo DCCX-MGARCH empleado muestran que incrementos en el diferencial entre los Certificados de Depósito para distintos plazos en Estados Unidos, y el decremento en el diferencial de los rendimientos de tres meses de los bonos del Tesoro de Estados Unidos y las tasas LIBOR de tres meses en Estados Unidos<sup>†</sup> (también conocido como TED), reducen las correlaciones condicionales, mientras que los incrementos en el índice VIX, la inversión institucional extranjera y la volatilidad del tipo de cambio las incrementan. Otro ejemplo en esta misma línea es el trabajo de Guesmi y Fattoum (2014), quienes utilizan un modelo DCC-AGARCH para estimar las correlaciones dinámicas condicionales entre los mercados accionarios de países importadores y países exportadores de petróleo. Encuentran que los comovimientos entre mercados, medidos por coeficientes de correlación condicional, se incrementan positivamente como respuesta a shocks significativos en la demanda agregada (demanda precautoria) y en el precio del

---

<sup>†</sup> Es decir, el diferencial entre las tasas de interés de corto plazo pagadas por los bonos gubernamentales en Estados Unidos, y la tasa de interés de los créditos interbancarios en ese país.

petróleo debido a fluctuaciones en el ciclo global de los negocios o incertidumbre mundial. Además, de acuerdo con los resultados reportados por estos autores, los precios del petróleo muestran correlación positiva con los mercados accionarios, hecho que deja en claro que la inclusión de posiciones largas (o cortas) de petróleo no es una estrategia acertada para diversificar el riesgo de mercado durante periodos de incertidumbre económica o financiera.

Entre los estudios cuyos commodities de interés son distintos del petróleo (aunque en ocasiones incluyen el petróleo como un commodity más) se incluyen, por ejemplo, el trabajo de Hammoudeh y Yuan (2008), quienes utilizan un modelo GARCH univariado para analizar la volatilidad del comportamiento del oro, plata y precios del cobre en respuesta a shocks en el petróleo, o en la tasa de interés, y reportan que el efecto de apalancamiento es significativo solo en el caso del cobre. También, se indica que el efecto de shocks pasados del petróleo en los precios de los metales depende del metal del cual se trata. Obien, el trabajo de Hammoudeh et al. (2011), quienes siguen un enfoque más que conduce a conclusiones pragmáticas al estudiar la correlación y la dinámica de la volatilidad en el rendimiento del precio del oro, plata, platino y paladio, pues lo utilizan en combinación con el Valor en Riesgo (VaR) para estimar la magnitud potencial de las pérdidas bajo distintos niveles de probabilidad, y estar en condiciones de diseñar estrategias óptimas de administración del riesgo. En esta misma línea de investigación, Creti et al. (2013) amplían el espectro de commodities analizadas al utilizar modelos DCC-GARCH en su estimación de la correlación condicional entre 25 materias primas y el SP&500. El periodo de análisis comprende del 3 de enero del 2001 al 28 de noviembre del 2011, y permite analizar el comportamiento de dichas relaciones en el tiempo revelando que, en el caso de varias materias primas, la correlación con el SP&500 creció entre 2007 y 2008. Un resultado hasta cierto

punto similar había sido reportado por Choi y Hammoudeh (2010), quienes investigan la correlación cambiante en el tiempo entre el petróleo Brent, WTI (West Texas Intermediate), cobre, oro, plata y el SP&500, y reportan que las correlaciones han aumentado a partir del año 2003. Otros ejemplos en la misma línea de trabajo es el artículo de Salisu y Oloko (2015), quienes emplean un modelo VECM, y encuentran que los precios de petróleo, gas, oro, y cobre están cointegrados, y lideran el precio de otras materias primas, en combinación con el crecimiento de la demanda de éstas en respuesta a cambios observados en el ciclo económico; o bien, Song et al. (2016), quienes encuentran que el plan quinquenal de desarrollo en China es fuertemente influido por el precio internacional del petróleo de Dubai, el cual a su vez afecta el mercado petrolero chino.

La transmisión de la volatilidad entre el precio del petróleo y el precio de los alimentos es una línea de investigación relativamente nueva. Entre los trabajos que se interesan por ésta se incluye el de Zhang et al. (2009), por ejemplo, en el cual se modelan las interacciones de la volatilidad entre los mercados de productos alimenticios y los mercados de energía en Estados Unidos mediante un modelo GARCH Multivariado. El resultado más destacado del trabajo de estos autores es que la volatilidad del precio del etanol es altamente influida por la volatilidad en el precio del alimento para ganado; o bien, Du et al (2011), quienes utilizan métodos de cadena de Markov Bayesianos y datos semanales para investigar la relación entre los precios de futuros de los precios del petróleo crudo, el maíz y el trigo, y encuentran evidencia de que existe una propagación de la volatilidad después del tercer trimestre del 2006, y de que el reciente crecimiento en la producción de etanol parece que ha incrementado la correlación entre estos mercados. Alternativamente, Serra (2011) utiliza un modelo GARCH bivariado semiparamétrico para probar la propagación y transmisión de la volatilidad

entre los precios semanales del petróleo, el etanol, los etanos y el azúcar en Brasil, para el periodo de julio del 2000 a Noviembre del 2009, y reporta evidencia de interdependencia en la volatilidad de estos mercados. Y, Serra et al. (2011) utilizan un modelo MGARCH para investigar la interacción de la volatilidad en los mercados de etanol en Brasil y utilizando pruebas de causalidad en la varianza y funciones de estímulo-respuesta encuentran la presencia de propagación de la volatilidad. Otros casos destacables en este mismo contexto incluyen el artículo de Nazlioglu et al. (2013) en el cual se investiga la propagación de la volatilidad entre precios del petróleo y el precio de productos agrícolas (frijol de soya, trigo y azúcar). Estos autores dividen sus datos en tres periodos distintos, y encuentran que la evidencia más fuerte de volatilidad del precio del petróleo se transmite a los precios de productos agrícolas en el periodo de enero del 2006 a Marzo del 2011. Mensi et al (2013), quienes utilizan un modelo GARCH-VAR para estudiar la transmisión de volatilidad entre el índice S&P500, los precios del petróleo Brent y el WTI, y los índices de precios del trigo, el oro y las bebidas durante el periodo de 2000 a 2011, y encuentran que, efectivamente, la volatilidad se transmite desde el S&P500 hacia otros mercados, y las correlaciones condicionales más altas se encuentran entre el S&P500 y el índice del Oro. Por último, se menciona el trabajo de Beckmann y Czudaj (2014), en el cual se emplea un modelo VAR-M-GARCH para estudiar la propagación de la volatilidad en los precios del maíz, algodón y trigo, y se reportan efectos negativos entre algodón y maíz, y positivos entre el maíz y el trigo.

En resumen, con base en la exploración de la literatura relevante sobre el tema de transmisión de la volatilidad entre el precio del petróleo, los mercados accionarios y distintos commodities, existe un vacío en el tratamiento de la propagación de la volatilidad entre las acciones de empresas listadas en mercados emergentes, y materias primas metálicas, razón por la cual el

presente estudio contribuye de forma significativa a una mejor comprensión del fenómeno.

### 3. Metodología Econométrica

En este trabajo se utilizan el modelo VARMA-AGARCH de McAleer et al. (2009) y el modelo DCC-AGARCH de Engle del (2002) para modelar la dinámica de la volatilidad y las correlaciones condicionales entre los precios de las acciones de compañías mineras mexicanas, y el precio del oro, plata, cobre, aluminio, y zinc. El modelo VARMA-AGARCH es una modificación del modelo VARMA-GARCH que presentaron Ling y McAleer (2003) permite que shocks de gran magnitud en una variable afecten la varianza de otras variables. Esta especificación permite la propagación de la volatilidad y asume que shocks positivos tienen el mismo impacto en la volatilidad condicional que shocks negativos tamaño similar. McAleer et al. (2009) extendieron el modelo anterior para incluir efectos GARCH asimétricos, y le llamaron modelo VARMA-AGARCH<sup>‡</sup>. La especificación tiene dos componentes, una ecuación de la media y una ecuación de la varianza y utiliza una autocorrelación de tres rezagos para modelar los rendimientos de cada serie y, en seguida, un modelo VARMA-AGARCH (1,1), para modelar las varianzas y covarianzas cambiantes en el tiempo. La representación matemática de este modelo se presenta en seguida:

$$r_{it} = \gamma_{i0} + \sum_{j=1}^5 \gamma_{ij} r_{it-j} + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} | I_{it-1} \sim N(0, h_{it}), i=1, \dots, n; t=1, \dots, T$$

(1)

$$\varepsilon_{it} = v_{it} h_{it}^{1/2}, v_{it} \sim N(0, 1)$$

(2)

---

<sup>‡</sup> Hakim y McAleer (2010) proveen una clara exposición y resumen de dichos modelos.

$$h_{it} = c_{ii} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \varepsilon_{jt-1}^2 + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} h_{jt-1} + d_i \varepsilon_{it-1}^2 I_{(\varepsilon_{it-1})} \quad (3)$$

En la ecuación (1)  $r_{ij}$  es el rendimiento de la serie  $i$  y  $\varepsilon_{it}$  es un error aleatorio con varianza condicional  $h_{it}$ . La ecuación (3) especifica el proceso VARMA-AGARCH (1,1) (McAleer et al., 2009). En esta ecuación, el indicador de la función  $I_{(\varepsilon_{it-1})}$  es igual a uno si  $\varepsilon_{it-1} < 0$ , y 0 de otra manera. En esta especificación un valor positivo de  $d$  significa que los errores negativos tienden a incrementar la varianza en mayor medida que los positivos. Es decir, las malas noticias incrementan más la volatilidad que las buenas noticias.

El modelo de Engle (2002) de correlación dinámica condicional (DCC) se estima en dos pasos. En el primer paso se estiman los parámetros GARCH de un modelo asimétrico GARCH (1,1) utilizando la ecuación (3) sin los términos de la volatilidad cruzada. En el segundo paso, se estiman las correlaciones.

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (4)$$

En la ecuación (4),  $H_t$  es una matriz de covarianzas condicionales  $n \times n$ ,  $R_t$  es la matriz de correlación condicional, y  $D_t$  es una matriz diagonal con desviaciones estándar cambiantes en el tiempo en la diagonal principal.

$$D_t = \text{diag}(h_{11t}^{1/2}, \dots, h_{nnt}^{1/2}) \quad (5)$$

$$R_t = \text{diag}(q_{11t}^{-1/2}, \dots, q_{nnt}^{-1/2}) \quad (6)$$

$Q$  es una matriz simétrica definida positiva:

$$Q_t = (1 - \theta_1 - \theta_2) Q + \theta_1 \xi_{t-1} \xi'_{t-1} + \theta_2 Q_{t-1} \quad (7)$$

$Q$  es la matriz de correlación no condicional de los residuos estandarizados  $\xi_{it} \times n$ , y los parámetros  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son no negativos. Estos parámetros se relacionan con un proceso de suavización exponencial utilizado para construir las correlaciones condicionales dinámicas. El modelo DCC posee reversión (es estable) en la media en tanto se cumple que  $\theta_1 + \theta_2 < 1$ . El estimador de la correlación es;

$$P_{i,j,t} = q_{i,j,t} / (q_{i,i,t} q_{j,j,t})^{-2} \quad (8)$$

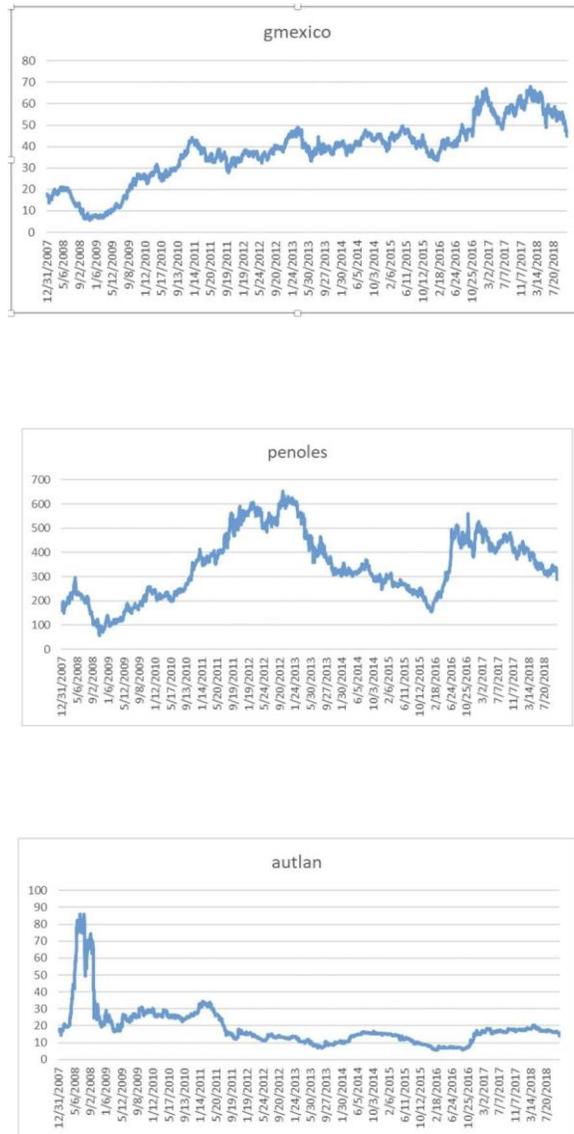
En el caso de la correlación constante (CCC)  $R_t = R$  y  $R_{ij} = \rho_{ij}$ , y en el modelo diagonal  $\rho_{ij} = 0$  para todo  $i$  y  $j$ . El caso diagonal es restrictivo, pues supone que todas las correlaciones condicionales dinámicas son cero. Los residuales estandarizados del modelo diagonal AGARCH,  $\xi_{it} = \varepsilon_{it} / (h_{it})^{-2}$ , se pueden usar para calcular una matriz de covarianza no condicional.

Los modelos GARCH se estiman con cuasi-máxima verosimilitud (QMLE), un enfoque apropiado cuando  $U$  no sigue una distribución normal multivariada. Todos los demás estadísticos son calculados utilizando una matriz robusta de covarianza.

#### 4.- Descripción de los Datos

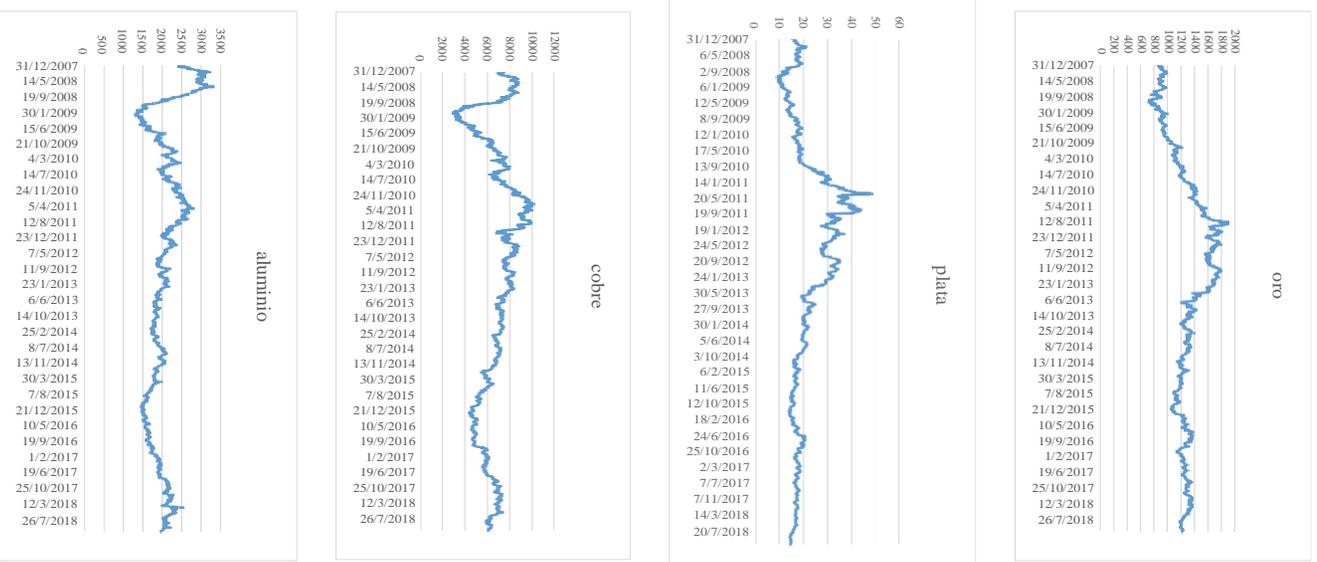
Este trabajo utiliza datos de Bloomberg para precios en dólares de oro, plata, cobre, aluminio, zinc y los precios de cierre de las acciones Grupo México, Minera Autlán y Peñoles para el periodo 31 de Dic del 2007 al 24 de Julio del 2015. Las gráficas temporales de los datos se muestran en la gráfica 1.

Figura 1: Series de tiempo de los precios de las acciones de las principales empresas mineras mexicanas.



Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Figura 2: Gráfica de los precios de los principales minerales





Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Para todas las series se calcularon los rendimientos continuos compuestos a través de la primera diferencia del logaritmo natural. Las estadísticas de resumen se muestran en la Tabla 1. Cada una de las series muestra un pequeño sesgo y una elevada curtosis, evidencia de que los rendimientos no siguen una distribución normal. Las pruebas de raíz unitaria (Dickey-Fuller y Zivot-Andrews, ambas en anexo) para cada una de las series muestran que los rendimientos son estacionarios.

Tabla 1.-Estadísticas para rendimientos diarios

	RGMEXICO	RPNOLES	RAUTLAN	RORO	RPLATA	RALUMINIO	RCOBRE	RZINC
Mean	0.00036	0.00020	-0.00009	0.00014	-0.00001	-0.00008	-0.00004	0.00001
Median	0.00074	0.00046	-0.00059	0.00030	0.00034	0.00000	0.00000	0.00000
Maximum	0.17424	0.19996	0.25380	0.09362	0.12251	0.05913	0.11881	0.09656
Minimum	-0.18412	-0.15081	-0.31576	-0.09512	-0.21083	-0.07437	-0.10400	-0.10832
Std. Dev.	0.02377	0.02702	0.02929	0.01154	0.01811	0.01401	0.01709	0.01942
Skewness	-0.12837	0.01108	-0.07847	-0.28328	-1.13248	-0.06999	-0.06017	-0.09700
Kurtosis	11.33150	8.49515	20.95126	9.27818	15.44773	5.03262	7.30603	5.48637
Jarque-Bera	7836.751	3405.990	36349.640	4481.945	18055.240	468.212	2093.008	701.526
Probability	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Sum	0.96872	0.53283	-0.24097	0.37586	-0.03060	-0.20959	-0.10794	0.01699
Sum Sq. Dev.	1.52868	1.97624	2.32197	0.36046	0.88737	0.53074	0.79031	1.02043
Observations	2707	2707	2707	2707	2707	2707	2707	2707

Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg

Las correlaciones no condicionales muestran que hay una correlación moderada y positiva entre las series.

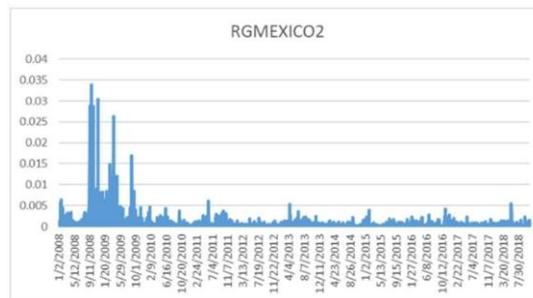
Tabla2.- Correlaciones entre los rendimientos diarios

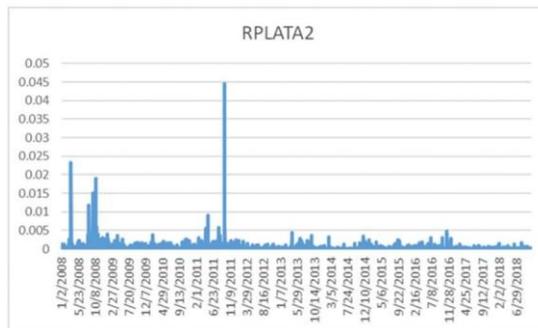
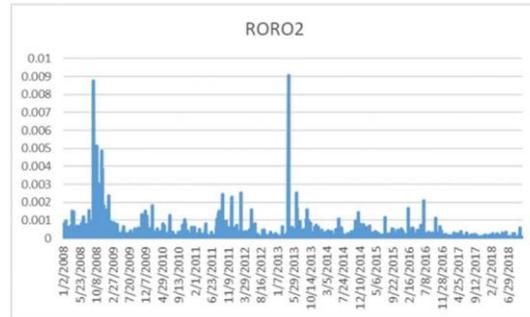
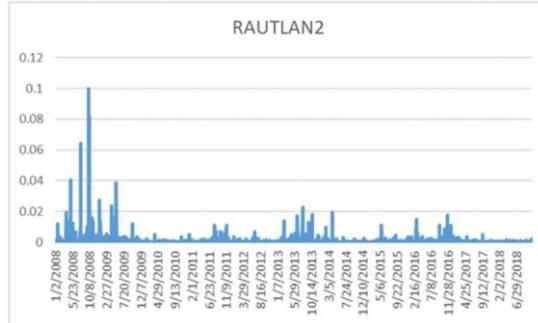
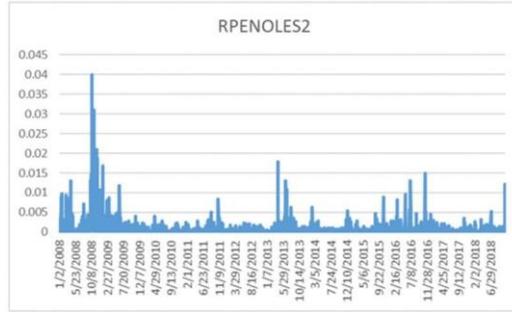
	rmexico2	rpenoles2	rautlan2	roro2	rplata2	raluminio	rcobre2	rzinc2
rmexico2	1.00000							
rpenoles2	0.40280	1.00000						
rautlan2	0.14313	0.15816	1.00000					
roro2	0.29608	0.26012	0.12354	1.00000				
rplata2	0.19962	0.18451	0.04791	0.10833	1.00000			
raluminio	0.19399	0.12370	0.04302	0.10506	0.04457	1.00000		
rcobre2	0.36067	0.40180	0.15191	0.22451	0.10951	0.43081	1.00000	
rzinc2	0.20107	0.22796	0.09364	0.08570	0.11045	0.20054	0.27262	1.00000

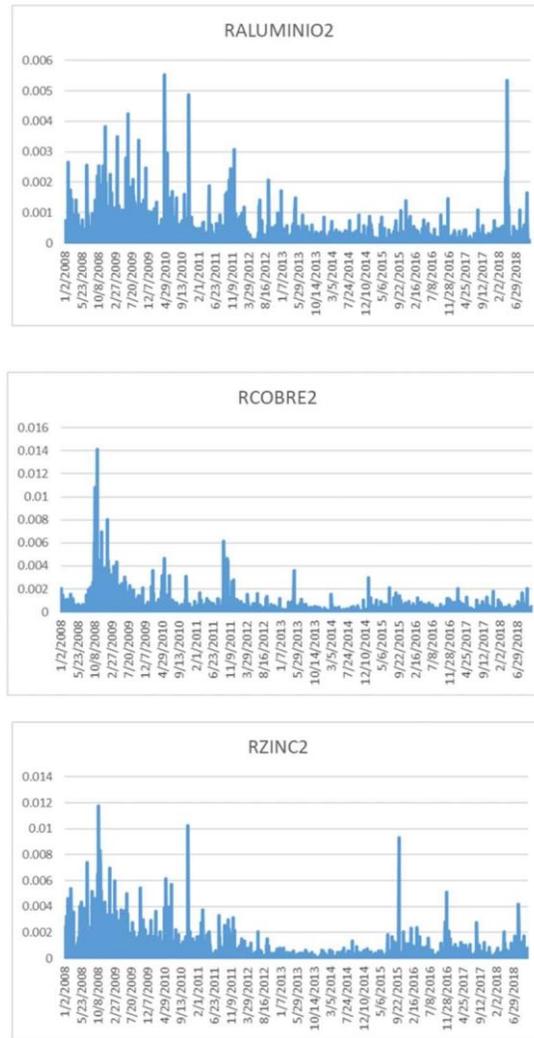
Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg

Las gráficas del cuadrado de los rendimientos muestran cómo ha cambiado la volatilidad a lo largo del tiempo (Figura 2). Todas las gráficas muestran un agrupamiento pronunciado de la volatilidad entre el segundo semestre del 2008 y el segundo semestre del 2009, precisamente durante el periodo cubierto por la Crisis Financiera Global.

Figura 2.- Rendimientos al cuadrado.







Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg

Las correlaciones entre los rendimientos al cuadrado revelan que existe una clara asociación entre las principales mineras -GMexico y Peñoles- y el precio del oro, así como entre las dos acciones. La información presentada en seguida muestra el agrupamiento de la volatilidad y las correlaciones cruzadas en la volatilidad (ver la Tabla 3).

Tabla 3.- Correlaciones entre rendimientos diarios al cuadrado

	rmexico2	rpenoles2	rautlan2	roro2	rplata2	raluminio	rcobre2	rzinc2
rmexico2	1.00000							
rpenoles2	0.40280	1.00000						
rautlan2	0.14313	0.15816	1.00000					
roro2	0.29608	0.26012	0.12354	1.00000				
rplata2	0.19962	0.18451	0.04791	0.10833	1.00000			
raluminio	0.19399	0.12370	0.04302	0.10506	0.04457	1.00000		
rcobre2	0.36067	0.40180	0.15191	0.22451	0.10951	0.43081	1.00000	
rzinc2	0.20107	0.22796	0.09364	0.08570	0.11045	0.20054	0.27262	1.00000

Fuente: elaboración propia con datos de Bloomberg.

## 5.- Resultados empíricos y análisis

Esta sección presenta los resultados empíricos obtenidos de la estimación de los modelos GARCH multivariado, seguidos por los resultados de las correlaciones condicionales.

### 5.1 Resultados de la regresión

Se empleó un modelo MGARCH-DCC, pues la prueba Portmanteau rechaza claramente la hipótesis de no existencia de un modelo MGARCH. Después de probar varias opciones, se encontró que el modelo M-GARCH-DCC presenta resultados superiores a los otros modelos de comparación. Éstos solo se reportan en forma tabular por razones de espacio. Con base en el análisis de las ecuaciones de la media, se detecta la no persistencia en los rendimientos.

Tabla 4: Modelos MGARCH: Estimación de Parámetros

	CCC			VCC			DCC		
	coeficiente	Z		coeficiente	Z		coeficiente	Z	
rgmexico									
Mean									
constant	0.00101	2.7	***	0.000985	2.64	***	0.000597	1.79	
arch	0.188281	8.67	***	0.190445	8.76	***	0.198792	6.67	***
garch	0.685948	34.33	***	0.683322	34.44	***	0.769939	28.41	***
Variance									
rplata	9.170603	1.17		8.45817	1.07		34.35645	2.99	***
roro	66.43646	7.23	***	66.64854	7.24	***	-6.42334	-0.25	
rcobre	-77.6039	-11.01	***	-78.0218	-11.02	***	67.0425	7.45	***
cons	-11.361	-33.35	***	-11.3871	-33.42	***	-11.4726	-19.38	***
rpenoles									
Mean									
constant	0.000637	1.43		0.000603	1.36		0.000916	2.35	***
arch	0.199785	8.19	***	0.200086	8.26	***	0.25712	6.51	***
garch	0.707709	20.56	***	0.707511	20.86	***	0.764952	17.44	***
Variance									
rplata	-6.53699	-1.32		-5.64694	-1.16		23.37402	1.19	
roro	-69.3771	-5.87	***	-70.5521	-6		-68.4813	-3.4	***
rcobre	40.63481	4.01	***	41.37452	4.02	***	-13.1641	-0.52	
cons	-10.461	-21.08	***	-10.5116	-20.77	***	-10.783	-10.46	***
rautlan									
Mean									
constant	8.79E-05	0.2		5.26E-05	0.12		-0.00065	-2.01	***
arch	0.267731	7.23	***	0.269053	7.21	***	0.283514	7.99	***
garch	0.619973	18.97	***	0.617301	18.86	***	0.61174	17.15	***
Variance									
rplata	-11.4371	-2.18	***	-11.6044	-2.22	***	11.04756	1.14	
roro	112.8247	10.03	***	113.4708	10.15	***	2.31569	0.08	
rcobre	-30.1655	-4.68	***	-30.0163	-4.69	***	60.58869	6.69	***
cons	-10.1596	-35.76	***	-10.169	-35.91	***	-10.631	-19.88	***
log l		19220.55			19224.5			19244.4	
AIC		-38393.1			38397.0			38436.8	
BIC		-38251.4			38243.5			382830	

\* Significativo al 10%

\*\* Significativo al 5%

\*\*\* Significativo al 1%

Fuente: Elaboración propia con resultados de STATA.

En las ecuaciones para cada una de las empresas mineras los términos ARCH y GARCH son significativos, lo cual confirma la idea de que la varianza del rendimiento de sus acciones sigue un proceso GARCH(1,1). En el modelo

MGARCH-DCC para la ecuación de la varianza de GMéxico el rendimiento del cobre y la plata son estadísticamente significativos y positivos, hecho que confirma el impacto de estos precios sobre la operación de la empresa y el desempeño del precio de su acción. Para la ecuación de la varianza de Peñoles, el coeficiente estimado para el oro es inesperadamente negativo y significativo. En la ecuación de Autlán el rendimiento del cobre es significativo y positivo, reafirmando la idea de que el impacto del precio de este mineral es importante para la volatilidad del rendimiento de esta acción.

En la Tabla 5 se muestran las correlaciones entre los residuos y los términos lambda del modelo DCC.

Tabla 5.- Correlaciones entre residuos del modelo DCC.

	Coeficiente	Error Est.	Z	P>(Z)
corr(RGMEXICO, RPENOLES)	0.471674	0.060291	7.82	***
corr(RGMEXICO, RAUTLAN)	0.302387	0.072695	4.16	***
corr(RPENOLES, RAUTLAN)	0.294028	0.077741	3.78	***
lambda1	0.012764	0.001932	6.61	***
lambda2	0.982616	0.001922	511.32	***
constante	3.896302	0.180036	21.64	***

\* Significativo al 10%

\*\* Significativo al 5%

\*\*\*Significativo al 1%

Fuente: Elaboración con resultados de Bloomberg, procesados en STATA.

La correlación de los residuos de GMéxico con Peñoles es de 0.47 y significativa. La correlación entre GMéxico y MAutlán es de 0.3, e igualmente, significativa. Y, la de Peñoles con Autlán es de 0.29, también significativa.

Aunque la suma de los términos lambda es apenas marginalmente menor a uno, se cumple la condición de estabilidad del modelo. Asimismo, la

prueba de Wald permite rechazar que sean iguales a cero. La lambda 1 (.013) indica la medida en la cual la correlación depende de shocks aleatorios en el precio de los minerales, y la lambda 2 (0.982), en qué medida la correlación depende de sus propios rezagos, además de que indica que las correlaciones revierten a la media. Estos resultados confirman que las correlaciones son variantes en el tiempo.

Ambos criterios AIC y SIC muestran que el modelo DCC es el mejor modelo ajustado. El diagnóstico en los residuos estandarizados o estandarizados al cuadrado no muestra evidencia significativa de autocorrelación, en cada uno de los modelos MGARCH. Apoyados en esta evidencia es posible concluir que el modelo MGARCH-DCC resulta el más conveniente para construir las correlaciones deseadas, y utilizarlas para los propósitos mencionados al inicio de este trabajo.

## 6.- Conclusiones

La importancia gradualmente creciente de los países emergentes en la economía mundial, junto con el desarrollo financiero y sofisticación del mercado de materias primas, presentan oportunidades y retos para las empresas que participan y para los inversionistas interesados en incluirlas en su portafolios. Este artículo utiliza modelos CCC-MGARCH, MGARCH-VCC, y DCC-GARCH para estimar la dinámica de la volatilidad y las correlaciones condicionales entre los precios de cinco importantes materias primas minerales y los precios de las acciones de las tres compañías mineras más importantes en México. Estos modelos son especialmente útiles, pues con el avance de la capacidad de procesamiento y el desarrollo de programas econométricos de vanguardia es relativamente fáciles estimarlos, y adicionalmente ofrecen la flexibilidad de considerar la presencia de efectos asimétricos.

Los principales resultados obtenidos en esta investigación son los siguientes:

- ▮ En primera instancia, de las tres especificaciones utilizadas (CCC-MGARCH, MGARCH-VCC. DCC-MGARCH), el Modelo DCC-MGARCH demuestra ser el que ofrece un mejor ajuste, y podría utilizarse para calcular razones de cobertura óptima como parte de la estrategia de inversión a seguir en portafolios de inversión que incluyan las acciones consideradas en este trabajo. De acuerdo con los resultados reportados, las correlaciones DCC presentan una alta variabilidad en periodos de inestabilidad financiera y podrían utilizarse en aplicaciones prácticas con mayor nivel de confianza que las obtenidas mediante el modelo CCC.
- ▮ En segundo lugar, con base en la representación gráfica de los precios y rendimientos de los minerales y acciones de empresas mineras estudiados es posible destacar claramente que durante el periodo de la gran crisis financiera de 2008-2009 se acentuaron las correlaciones y efectos asimétricos entre los mismos, consistente con los hallazgos reportados en la literatura.
- ▮ En tercer lugar, nuestros resultados destacan que el precio de las acciones mineras y los precios de las materias primas muestran efectos de “apalancamiento” y los residuos negativos tienden a incrementar la varianza (o volatilidad condicional) más que los positivos, una consideración de la mayor importancia para los administradores de portafolios y otros participantes del mercado.

- Finalmente, el que las DCC sean significativas y crezcan después de la gran crisis reducen cualquier beneficio que podría tenerse con la diversificación. Todo indica que después de la Crisis Financiera Global hay convergencia en el rendimiento de las empresas mineras.

El desarrollo de modelos econométricos cada vez más poderosos permite descubrir nuevas características de las series de precios y rendimientos de los activos financieros y su relación con los precios de mercado de productos tales como los minerales aquí estudiados. Con el empleo de técnicas robustas se logra identificar cuáles son los mejores modelos que utilizar en distintos tipos de series con el propósito de comprender mejor su dinámica interna, pero también se abre la posibilidad de realizar proyecciones del comportamiento de los precios y rendimientos bajo distintas condiciones del mercado.

Los mercados financieros permiten a las empresas mineras obtener recursos monetarios para impulsar sus proyectos y administrar su operación a través de la colocación de acciones. A medida que los inversionistas que aportan esas inversiones mejoran su conocimiento de la relación que existe entre el precio de las acciones y el precio de las materias primas que producen las empresas, estarán en mejores condiciones para diseñar estrategias de inversión y cobertura gracias a las cuales minimizar su exposición a un comportamiento desfavorable de los precios de las segundas. Ahondar en la exploración de los factores de mercado que influyen de manera significativa sobre el comportamiento de los precios de las acciones de las empresas contribuye a una administración más responsable de las inversiones y a inculcar una cultura de la administración de riesgos profesional.

Esta contribución es un paso en la dirección señalada, y abre un derrotero de posibles trabajos de investigación que esclarezcan la influencia de distintas variables de mercado entre las cuales se incluye, por supuesto, los precios de otras materias primas y productos agrícolas, pero también el comportamiento de las tasas de interés, los tipos de cambio y, en general, toda variable de mercado que pueda incidir en el precio de las acciones de cierto tipo de empresas.

## Referencias

- Abdullah, A. M., Saiti, B., & Masih, M. (2016). The impact of crude oil price on Islamic stock indices of South East Asian countries: Evidence from MGARCH-DCC and wavelet approaches. *Borsa Istanbul Review*, 16(4), 219-232.
- Arouri, M. E. H., Jouini, J., & Nguyen, D. K. (2011). Volatility spillovers between oil prices and stock sector returns: Implications for portfolio management. *Journal of International money and finance*, 30(7), 1387-1405.
- Arouri, M. E. H., Lahiani, A., & Nguyen, D. K. (2011). Return and volatility transmission between world oil prices and stock markets of the GCC countries. *Economic Modelling*, 28(4), 1815-1825.
- Arouri, M. E. H., Jouini, J., & Nguyen, D. K. (2012). On the impacts of oil price fluctuations on European equity markets: Volatility spillover and hedging effectiveness. *Energy Economics*, 34(2), 611-617.
- Basher, S. A., & Sadorsky, P. (2016). Hedging emerging market stock prices with oil, gold, VIX, and bonds: A comparison between DCC, ADCC and GO-GARCH. *Energy Economics*, 54, 235-247.
- Beckmann, J., & Czudaj, R. (2014). Volatility transmission in agricultural futures markets. *Economic Modelling*, 36, 541-546.
- Chang, C. L., McAleer, M., & Tansuchat, R. (2013). Conditional correlations and volatility spillovers between crude oil and stock index returns. *The North American Journal of Economics and Finance*, 25, 116-138.

- Choi, K., & Hammoudeh, S. (2010). Volatility behavior of oil, industrial commodity and stock markets in a regime-switching environment. *Energy Policy*, 38(8), 4388-4399.
- Cologni, A., & Manera, M. (2009). The asymmetric effects of oil shocks on output growth: A Markov–Switching analysis for the G-7 countries. *Economic Modelling*, 26(1), 1-29.
- Creti, A., Joëts, M., & Mignon, V. (2013). On the links between stock and commodity markets' volatility. *Energy Economics*, 37, 16-28.
- Cunado, J., & De Gracia, F. P. (2005). Oil prices, economic activity and inflation: evidence for some Asian countries. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 45(1), 65-83.
- Domanski, D., & Heath, A. (2007). Financial investors and commodity markets.
- Du, X., Cindy, L. Y., & Hayes, D. J. (2011). Speculation and volatility spillover in the crude oil and agricultural commodity markets: A Bayesian analysis. *Energy Economics*, 33(3), 497-503.
- Dwyer, A., Gardner, G., & Williams, T. (2011). Global commodity markets—price volatility and financialisation. *RBA Bulletin*, June, 49-57.
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 339-350.
- Erb, C. B., & Harvey, C. R. (2006). The strategic and tactical value of commodity futures. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 69-97.
- Filis, G., Degiannakis, S., & Floros, C. (2011). Dynamic correlation between stock market and oil prices: The case of oil-importing and oil-exporting countries. *International Review of Financial Analysis*, 20(3), 152-164.
- Gorton, G., & Rouwenhorst, K. G. (2006). Facts and fantasies about commodity futures. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 47-68.
- Greer, R. J. (1978). Conservative commodities: A key inflation hedge. *The Journal of Portfolio Management*, 4(4), 26-29.
- Guesmi, K., & Fattoum, S. (2014). Return and volatility transmission between oil prices and oil-exporting and oil-importing countries. *Economic Modelling*, 38, 305-310.

- Hakim, A., & McAleer, M. (2010). Modelling the interactions across international stock, bond and foreign exchange markets. *Applied Economics*, 42(7), 825-850.
- Hamilton, J.D. (1983). Oil and the macroeconomy since World War II. *Journal of political economy*, 91(2), 228-248.
- Hamilton, J.D. (2003). What is an oil shock? *Journal of econometrics*, 113(2), 363-398.
- Hammoudeh, S., & Yuan, Y. (2008). Metal volatility in presence of oil and interest rate shocks. *Energy Economics*, 30(2), 606-620.
- Hammoudeh, S., Malik, F., & McAleer, M. (2011). Risk management of precious metals. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 51(4), 435-441.
- Hillier, D., Draper, P., & Faff, R. (2006). Do precious metals shine? An investment perspective. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 98-106.
- Hwang, E., Min, H. G., Kim, B. H., & Kim, H. (2013). Determinants of stock market comovements among US and emerging economies during the US financial crisis. *Economic Modelling*, 35, 338-348.
- IMF World Economic Outlook, 2014.  
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2012/01/index.htm> (April).
- Kilian, L. (2008). Exogenous oil supply shocks: how big are they and how much do they matter for the US economy?. *The Review of Economics and Statistics*, 90(2), 216-240.
- Lardic, S., & Mignon, V. (2008). Oil prices and economic activity: An asymmetric cointegration approach. *Energy Economics*, 30(3), 847-855.
- Ling, S., & McAleer, M. (2003). Asymptotic theory for a vector ARMA-GARCH model. *Econometric theory*, 19(2), 280-310.
- Malik, F., & Ewing, B. T. (2009). Volatility transmission between oil prices and equity sector returns. *International Review of Financial Analysis*, 3(18), 95-100.
- Malik, F., & Hammoudeh, S. (2007). Shock and volatility transmission in the oil, US and Gulf equity markets. *International Review of Economics & Finance*, 16(3), 357-368.

- McAleer, M., Hoti, S., & Chan, F. (2009). Structure and asymptotic theory for multivariate asymmetric conditional volatility. *Econometric Reviews*, 28(5), 422-440.
- Mensi, W., Beljid, M., Boubaker, A., & Managi, S. (2013). Correlations and volatility spillovers across commodity and stock markets: Linking energies, food, and gold. *Economic Modelling*, 32, 15-22.
- Nazlioglu, S., Erdem, C., & Soytas, U. (2013). Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets. *Energy Economics*, 36, 658-665.
- Sadorsky, P. (2012). Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies. *Energy Economics*, 34(1), 248-255.
- Sadorsky, P. (2014). Modeling volatility and correlations between emerging market stock prices and the prices of copper, oil and wheat. *Energy Economics*, 43, 72-81.
- Salisu, A. A., & Oloko, T. F. (2015). Modeling oil price–US stock nexus: A VARMA–BEKK–AGARCH approach. *Energy Economics*, 50, 1-12.
- Serra, T. (2011). Volatility spillovers between food and energy markets: a semiparametric approach. *Energy Economics*, 33(6), 1155-1164.
- Serra, T., Zilberman, D., & Gil, J. (2010). Price volatility in ethanol markets. *European review of agricultural economics*, 38(2), 259-280.
- Silvennoinen, A., & Thorp, S. (2013). Financialization, crisis and commodity correlation dynamics. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 24, 42-65.
- Vivian, A., & Wohar, M. E. (2012). Commodity volatility breaks. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 22(2), 395-422.
- Song, M., Fang, K., Zhang, J., & Wu, J. (2016). The Co-movement Between Chinese Oil Market and Other Main International Oil Markets: A DCC-MGARCH Approach. *Computational Economics*, 1-16.
- Zhang, D. (2008). Oil shock and economic growth in Japan: A nonlinear approach. *Energy Economics*, 30(5), 2374-2390.
- Zhang, Z., Lohr, L., Escalante, C., & Wetzstein, M. (2009). Ethanol, corn, and soybean price relations in a volatile vehicle-fuels market. *Energies*, 2(2), 320-339.