



Análisis Económico

ISSN: 0185-3937

analeco@correo.azc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

México

Mora Rivera, José Jorge; Zamudio Carrillo, Andrés; Fuentes Castro, Hugo Javier  
Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado  
Análisis Económico, vol. XXIX, núm. 72, 2014, pp. 35-56  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41337767003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado

*(Recibido: 20/enero/2014 –Aceptado: 29/octubre/2014)*

*José Jorge Mora Rivera*<sup>\*</sup>

*Andrés Zamudio Carrillo*<sup>\*\*</sup>

*Hugo Javier Fuentes Castro*<sup>\*\*\*</sup>

## Resumen

Este documento proporciona al lector evidencia empírica reciente sobre la volatilidad de precios de productos agrícolas en un contexto de mercados internacionales. Se analiza el grado de contaminación en la dinámica de dos índices de precios de productos agrícolas (cereales y aceites). Utilizando información mensual y modelos GARCH multivariados, nuestros resultados indican que los precios de estos bienes están altamente correlacionados y dicha correlación se ha incrementado en los últimos años; es decir, cada vez existe una contaminación más rápida y en mayor medida entre los distintos mercados que caracterizan a los productos agrícolas.

**Clasificación JEL:** Q11, Q18.

**Palabras Clave:** precios agrícolas, volatilidad, modelos GARCH multivariados.

<sup>\*</sup> Profesores-Investigadores, Departamento de Economía, ITESM-CCM. Calle del Puente 222 Oficinas III, 2º Piso Col. Ejidos de Huipulco Del. Tlalpan C.P. 14380 México, D.F. Correo electrónico: <jjmora@itesm.mx>.

<sup>\*\*</sup> Correo electrónico: <andres.zamudio@itesm.mx>.

<sup>\*\*\*</sup> Correo electrónico: <hfuentes@itesm.mx>.

## Introducción

La volatilidad de los precios agrícolas internacionales no es un fenómeno nuevo sino más bien una característica propia del sector agrícola, que históricamente ha respondido a los desfases temporales entre el momento en que se deciden las siembras y el momento en el que se recogen las cosechas, a la variabilidad de las cosechas como consecuencia de la variación de las condiciones climáticas de cada ciclo agrícola, así como a otros factores más recientes como son: la incorporación de este tipo de bienes en los mercados especulativos y a la creciente demanda de biocombustibles (Sumpsi, 2011, Gilbert y Morgan, 2010).

Sin embargo, en años recientes y exacerbado por la crisis financiera mundial de 2007-2008, que se originó de manera directa debido al colapso de la burbuja inmobiliaria en los Estados Unidos, la volatilidad de los mercados de productos primarios ha experimentado episodios de subidas explosivas, por ejemplo, en el período noviembre 2007 - junio 2008 y agosto 2010 - junio 2011, así como disminuciones considerables experimentadas en julio de 2010. Las experiencias anteriores han ocasionado una llamada de atención para estudiar y analizar este fenómeno con mayor énfasis, tanto en la academia como en diversos organismos internacionales y gubernamentales. Hecho que se manifestó durante la cumbre del G-20 celebrada en Seúl en noviembre de 2010 y donde uno de los principales logros al respecto fue la aprobación de un plan plurianual para el desarrollo, que contiene entre otros un capítulo dedicado a la agricultura y la alimentación, en el que figura el tema de la volatilidad de los precios agrícolas (OCDE-FAO, 2011).

La presencia, cada vez mayor, de fluctuaciones en los precios de los productos agrícolas ha originado mayor atención dentro de la literatura económica y financiera, quienes reconocen a esta problemática como uno de los fenómenos económicos de mayor relevancia (Engle, 1982; Newbery, 1989; Pindyck, 2004) debido a sus implicaciones en materia de bienestar (Apergis y Rezitis, 2003; Zheng *et al.*, 2008), así como por sus implicaciones en materia de inseguridad alimentaria que podría originarse sobre todo en la población de aquellas regiones más vulnerables, lo que origina mayor atención en los tomadores de decisión (CEPAL / FAO / IICA, 2011; Hernández, *et al.*, 2011). El trabajo de Kroner *et al.* (1993) enfatiza que los precios de las materias primas son de los más volátiles en el conjunto de precios internacionales, dichos movimientos han originado preocupación en los distintos órdenes económicos, tanto a nivel macro (gobierno y comercio internacional), como a nivel micro (productores y consumidores). Si estos movimientos o fluctuaciones en los precios se prolongan por periodos considerables pueden provocar efectos desestabilizadores en la asignación correcta de precios en los mercados internacionales

y nacionales, lo que origina una asignación ineficiente de los recursos y propicia actividades especulativas en sus respectivos mercados de futuros (FAO, 2007).

Existe una vasta literatura que estudia las causas y consecuencias de los movimientos de los precios de productos agrícolas. Dichas fluctuaciones pueden ser explicadas desde diferentes perspectivas, tales como choques de oferta (Hossain, 2007; Banco Mundial, 2007; Gilbert y Morgan, 2010), choques de demanda (OECD, 2008; CEPAL / FAO / IICA, 2011), incremento en el precio del petróleo y los metales (Radetzki, 2006; Heady y Fan, 2008), depreciaciones agudas del dólar americano respecto a otras monedas (Heady y Fan, 2008; Abbott *et al.*, 2009) y una importante crecimiento en la demanda de biocombustibles (CEPAL / FAO / IICA, 2011; Rosegrant *et al.*, 2008; Mitchell, 2008). Aunado a este conjunto de motivaciones, en años recientes, la integración con los mercados de futuros parece ser una de las principales fuentes para el aumento de la volatilidad en el sector agrícola (Gilbert, 2010; Robles *et al.*, 2009; Baffes y Haniotis, 2010; Sinnot *et al.*, 2010).

El estudio de la volatilidad de series financieras ha sido ampliamente estudiado aplicando diversos modelos econométricos. Algunas variables financieras como el precio de las acciones, la tasa de interés y los tipos de cambio han sido frecuentemente modelados utilizando modelos econométricos tipo ARCH (Blair *et al.*, 2001; Dewachter, 1996; Maneschiold, 2004; Wei C., 2009). Así mismo, existen estudios que han incorporado las técnicas econométricas financieras al estudio de la volatilidad de precios en diferentes mercados, como en el caso de la energía (Regnier, 2007), los precios del petróleo (Narayan y Narayan, 2007).

Anterior a la crisis de los precios agrícolas del 2007-2008, los estudios sobre la volatilidad de estos productos era limitada, una excepción es el trabajo de Valadkhani *et al.* (2005) que utilizando modelos ARCH-GARCH analizan la variabilidad de los productos exportados de Australia respecto a los precios mundiales. Por su parte, Apergis y Rezitis (2003) utilizan modelos GARCH para examinar la relación que mantienen las variables macroeconómicas con la volatilidad del precio de los alimentos en Grecia. A partir de la crisis experimentada en 2007-2008, diversos estudios han analizado las causas de la crisis de precios de productos agrícolas (Heady y Fan, 2008; Mitchell, 2008; Robles *et al.*, 2009; Baffes y Haniotis, 2010; Sinnot *et al.*, 2010). Dado que muchas de las causas analizadas tienen un carácter estructural, la utilidad de esos estudios va mucho más allá de los aspectos coyunturales del alza de precios observada en esos años, aportando al mejor entendimiento de los mercados de productos agrícolas y de la volatilidad de sus precios.

El objetivo de este documento consiste en establecer, de manera exploratoria, la relación o grado de interdependencia entre la volatilidad de precios de distintos productos agrícolas. En particular, se analiza el grado de contaminación

en la dinámica de dos índices de precios de productos agrícolas (cereales y aceites) generados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La información utilizada es mensual y comprende el periodo 2000-2013. Extraer resultados del grado de correlación y/o contaminación entre precios de productos agrícolas permitiría planear y tomar medidas regulatorias adecuadas, ya que éstas dependerán del grado de interrelación entre los distintos mercados. El análisis de la volatilidad se realizó aplicando modelos GARCH multivariados a estas dos series de precios. En particular se utilizó un modelo BEKK diagonal, con el cual, tanto las varianzas condicionales como la covarianza condicional se expresaron en función del tiempo.

El documento, además de la introducción, contiene tres secciones. En la primera se presenta un panorama del fenómeno de la volatilidad de los precios agrícolas, en la segunda sección presentamos la descripción de los datos y el modelo econométrico utilizados en nuestro análisis. La tercera sección contiene los principales resultados y las conclusiones se presentan al final.

## **1. La volatilidad de los precios agrícolas en perspectiva**

Desde el segundo semestre de 2010 y durante los primeros meses de 2011, los precios internacionales de los alimentos mostraron un repunte nuevamente, incluso sobrepasando los niveles alcanzados durante la crisis del 2007-2008. Para los países de la región, que se especializan en la exportación de materias primas, el alza de los precios agrícolas representa grandes oportunidades de mejorar sus términos de intercambio (FAO, 2011). Sin embargo, también puede acarrearles costos significativos en seguridad alimentaria, desnutrición y movilizaciones sociales, sobre todo a los países importadores netos de alimentos. Para los productores agrícolas, la persistencia de la volatilidad, por la constante variación de los precios, seguirá planteando gran incertidumbre, que se suma a los ya exacerbados riesgos que enfrentan por el cambio climático y la presencia recurrente de plagas y enfermedades (OCDE-FAO, 2011).

El fenómeno de la volatilidad involucra aspectos relativos a la velocidad, magnitud y cambios de dirección en las tasas de variación de los precios. Desde el punto de vista estadístico, un precio es más volátil cuanto mayor sea la magnitud de su tasa de cambio, hacia arriba o hacia abajo, más rápido sea el cambio, y más cambios haya en direcciones opuestas. Cuando hablamos de las variaciones en los precios de las materias primas agrícolas es importante distinguir entre lo que son cambios en la tendencia y lo que son las variaciones en la volatilidad. La volatilidad es un concepto más técnico, que se refiere a los cambios en las tasas de variación de

los precios en períodos sucesivos de tiempo (Doporto y Michelena, 2011). Existe gran volatilidad cuando los precios están aumentando y disminuyendo constantemente.

Los cambios en la tendencia generalmente se relacionan con variaciones en algunos de los determinantes de la demanda de alimentos, como el incremento en el poder de compra de segmentos muy importantes de la población en países como China e India y el cambio hacia una dieta más occidentalizada. Por su parte, los factores que afectan la volatilidad están asociados a factores más coyunturales que operan en el corto plazo, tales como choques de oferta (por ejemplo, una mala cosecha en un país productor importante), variaciones en los tipos de cambio entre el dólar y otras monedas, y expectativas en los mercados financieros (Sumpsi, 2011). Por ejemplo, se considera que 2010 fue un año de marcada volatilidad, originada tanto en la sobrereacción a anuncios de cosechas esperadas en algunos países o al efecto de factores climáticos, como a las variaciones en las expectativas sobre el curso de la economía mundial, especialmente en cuanto al ritmo de la recuperación luego de la crisis del 2007-2008 (CEPAL / FAO / IICA, 2011). Estos fenómenos experimentados en la creciente variabilidad de los precios agrícolas han provocado una mayor preocupación internacional, ya que dichos movimientos están vinculados a los incrementos en los precios de los principales cereales de consumo humano, fundamentales en la dieta de la población más pobre, especialmente en los países menos desarrollados.

La reciente volatilidad de los precios no es única para los mercados agrícolas. Varios mercados de productos primarios, como la energía, los metales y los artículos industriales también han mostrado una volatilidad mayor en años recientes. Sin embargo, los precios altos y volátiles de los productos alimentarios pueden poner en peligro la frágil estabilidad económica y política de algunos países con mayor vulnerabilidad ante estos desequilibrios. Detrás de las preocupaciones acerca de los precios volátiles se encuentran preocupaciones con respecto a los niveles de precios. Los precios altos de los alimentos y de los productos pueden causar impactos negativos en la macroeconomía por medio del alza de los costos de vida y de la inflación, así como en relación con el equilibrio de las posiciones de pago o las finanzas gubernamentales (FAO, 2012). Con seguridad, los más afectados serán los países en desarrollo que son importadores netos de alimentos y cuyas importaciones en este renglón son significativas en la balanza de pagos en términos de las finanzas de sus gobiernos.

Algunas de las posibles explicaciones económicas que pudieran llevar a un aumento de la volatilidad en los mercados agrícolas son al menos de dos tipos: aquellos factores que hacen aún más inelásticas la oferta y la demanda de esos

productos y aquellos que aumentan la frecuencia y la intensidad de los choques (*shocks*).

En el lado de la oferta, los países exportadores y los productores individuales de alimentos pueden beneficiarse de los precios altos, pero los precios bajos o volátiles podrían plantear problemas significativos. Por supuesto, algunos productores pueden también resultar afectados de manera diversa por el aumento en los precios, por ejemplo, los ganaderos que enfrentan precios más altos del forraje y adquisiciones de existencias para los criaderos. Muchos productores pueden tener pocos recursos para adquirir mecanismos que los protejan en periodos de adversidad, como el ahorro y los seguros, con miras a mitigar grandes fluctuaciones de los ingresos. La volatilidad extrema crea riesgos adicionales debido a la demora entre las decisiones de producción basadas en precios futuros esperados y los precios que de hecho se reciben cuando la producción se paga al momento de la cosecha o de la venta, algunos meses posteriores (OCDE-FAO, 2011). Por su parte, los precios bajos y volátiles pueden poner en peligro la viabilidad de los productores agrícolas (y otros actores de la cadena alimentaria) con un impacto sobre la producción y las decisiones de inversión. Por ejemplo, los pequeños agricultores pobres con acceso limitado al crédito quizá no tengan la capacidad de comprar los insumos necesarios para la temporada siguiente.

Por el lado de la demanda, los efectos negativos más graves, del aumento y la volatilidad de los precios de los alimentos, se concentran en la seguridad alimentaria de las familias de escasos recursos de los países en desarrollo, en particular los urbanos pobres y las familias sin tierra, así como aquellas encabezadas por una mujer, quienes gastan la mayor proporción de sus ingresos en alimentos. Los precios altos de los alimentos erosionan los estándares de vida de las familias y empeoran la prevalencia de la inseguridad alimentaria y la desnutrición al reducir la cantidad y la calidad de los alimentos consumidos (OCDE-FAO, 2011).

En términos generales, la volatilidad no es una preocupación crucial cuando los movimientos de los precios son paulatinos, muestran patrones estacionales y son por lo general predecibles en línea con los aspectos fundamentales del mercado. Sin embargo, los problemas surgen cuando la amplitud de las oscilaciones de precios es grande, la frecuencia es alta o sus ocurrencias repentinas, sobre todo en dirección ascendente. Los precios altos y volátiles son los que atraen más la atención, pero los precios y la volatilidad bajos también son problemáticos (CEPAL / FAO / IICA, 2011). Como ya lo mencionamos, los precios volátiles crean incertidumbre y riesgo para los productores, comerciantes, consumidores y gobiernos, y pueden ejercer amplias repercusiones negativas en el sector agrícola, la seguridad alimentaria y la economía en general (OCDE-FAO, 2011).

Ante este panorama es posible intuir que la volatilidad de los precios tiene un impacto negativo sobre la producción y la rentabilidad agrícola, ya que introduce riesgos en la actividad productiva y comercial que son vistos como un costo adicional. Por lo tanto, mayores niveles de volatilidad ocasionan menores rentabilidades agrícolas, y asociado a ellas, menores niveles de producción, que a la vez hace que la demanda por insumos disminuya (Robinson y Bary, 1987; Torero, 2010). Las condiciones actuales de alta y creciente volatilidad son un desincentivo para invertir, innovar y aumentar los rendimientos y la productividad en la agricultura, es por ello que resulta fundamental establecer el grado de contaminación entre los precios de distintos productos agrícolas para efectuar un correcto delineamiento de las políticas públicas encaminadas a disminuir los potenciales efectos negativos asociados a la dinámica de los precios de productos agrícolas básicos.

## 2. Descripción del modelo y datos

### 2.1 Modelos GARCH multivariados

Los modelos más comunes para analizar la volatilidad de una serie han sido los modelos ARCH<sup>1</sup> (modelos autoregresivos con heterocedasticidad condicional) o bien en su forma generalizada los modelos GARCH.<sup>2</sup> En el trabajo de Engle (1982) se presenta el modelo ARCH, el cual modela la varianza condicional de mediciones pasadas, siendo esta no constante (heterocedástica). Para estos procesos, el pasado reciente proporciona información acerca de la varianza del pronóstico de un período. Posteriormente, el modelo GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), introducido por Bollerslev (1986), mejora la especificación original del modelo ARCH agregando la varianza condicional rezagada, la cual actúa como un término suavizador, al permitir que las volatilidades pasadas impacten en la volatilidad actual.

El objetivo de estos modelos es especificar la varianza condicional en función del tiempo. Esto es, en lugar de especificar una varianza constante, como sucede en los modelos tradicionales ARIMA, la varianza se especifica para que dependa del tiempo. De esta manera la varianza va a cambiar dependiendo de noticias, o eventos que pueden provocar un incremento en la varianza (volatilidad) o bien una disminución en esta (período de calma).

<sup>1</sup> Engle (1982).

<sup>2</sup> Bollerslev (1986).

En los modelos GARCH univariados se trabaja con la varianza condicional para una serie. Sin embargo en este documento nos interesa trabajar con las varianzas y covarianzas para un grupo de series. Es por ello que utilizamos modelos GARCH multivariados, cuyo objetivo es analizar la volatilidad conjunta. En este caso reviste importancia determinar cómo la volatilidad de un mercado afecta la volatilidad en otro mercado; es decir, cómo se da el proceso de contaminación entre mercados.

Al igual que en los modelos GARCH univariados, la volatilidad se analiza haciendo que las varianzas condicionales dependan del tiempo; sin embargo, en el caso múltiple es la matriz de varianzas y covarianzas la que se especifica en función del tiempo. De este modo no solamente las varianzas condicionales individuales dependen del tiempo sino también las covarianzas condicionales.

El primer modelo propuesto para analizar la volatilidad conjunta consistió en el llamado modelo VECH, o simplemente GARCH vectorial, el cual fue propuesto por Bollerslev, Engle y Wooldridge (1988). El modelo se puede ejemplificar, para el caso de un GARCH (1,1) vectorial, de la siguiente manera:

$$\text{vech}(H_t) = C + A\text{vech}(\epsilon_{t-1}\epsilon_{t-1}^T) + B\text{vech}(H_{t-1}) \quad (1)$$

Donde  $H_t$  representa a la matriz de varianzas y covarianzas condicionales para el período  $t$ . Si estamos hablando de un total de  $m$  variables, entonces  $H_t$  es una matriz cuadrada de  $m \times m$ . El elemento  $\epsilon_{t-1}$  representa al vector de errores del período  $t - 1$ . El operador  $\text{vech}(\cdot)$  denota el proceso de apilar en un vector columna ya sea el triángulo superior o bien el triángulo inferior de una matriz cuadrada simétrica.  $C$ ,  $A$  y  $B$ , representan matrices y vectores de parámetros a estimar. Como en la matriz  $H_t$  se tienen  $m(m+1)/2$  parámetros distintos, entonces  $C$  consiste en un vector columna con  $m(m+1)/2$  elementos.  $A$  y  $B$  son matrices de parámetros de dimensión  $m(m+1)/2 \times m(m+1)/2$ . Por ejemplo, supongamos que tenemos solamente dos series de tiempo, es decir  $m = 2$ . En este caso el modelo VECH se escribe como sigue:

$$\text{vech} \begin{pmatrix} h_{11t} & h_{12t} \\ h_{21t} & h_{22t} \end{pmatrix} = C + A\text{vech} \begin{pmatrix} \epsilon_{1t-1}^2 & \epsilon_{1t-1}\epsilon_{2t-1} \\ \epsilon_{2t-1}\epsilon_{1t-1} & \epsilon_{2t-1}^2 \end{pmatrix} + B\text{vech} \begin{pmatrix} h_{11t-1} & h_{12t-1} \\ h_{21t-1} & h_{22t-1} \end{pmatrix}$$

Aplicando los operadores y desarrollando las matrices se tiene:

$$\begin{pmatrix} h_{11t} \\ h_{22t} \\ h_{12t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{1t-1}^2 \\ \epsilon_{2t-1}^2 \\ \epsilon_{1t-1}\epsilon_{2t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_{11t-1} \\ h_{22t-1} \\ h_{12t-1} \end{pmatrix}$$

En esta forma general, las varianzas y covarianzas condicionales se expresan en función de errores rezagados, varianzas rezagadas y covarianzas rezagadas. Por ejemplo, las dos varianzas condicionales se escriben de la siguiente manera:

$$h_{11t} = c_1 + a_{11}\varepsilon_{1t-1}^2 + a_{12}\varepsilon_{2t-1}^2 + a_{13}\varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} + b_{11}h_{11t-1} + b_{12}h_{22t-1} + b_{13}h_{12t-1} \quad (2)$$

$$h_{22t} = c_2 + a_{21}\varepsilon_{1t-1}^2 + a_{22}\varepsilon_{2t-1}^2 + a_{23}\varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} + b_{21}h_{11t-1} + b_{22}h_{22t-1} + b_{23}h_{12t-1} \quad (3)$$

La expresión para la covarianza condicional es similar:

$$h_{12t} = c_3 + a_{31}\varepsilon_{1t-1}^2 + a_{32}\varepsilon_{2t-1}^2 + a_{33}\varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} + b_{31}h_{11t-1} + b_{32}h_{22t-1} + b_{33}h_{12t-1} \quad (4)$$

Se puede ver que en este caso simple, con dos series de tiempo, la varianza condicional involucra a un número considerable de parámetros, en total tenemos 21 parámetros que estimar. En el caso general, el número de parámetros es:

$$\frac{m(m+1)}{2} + 2\left(\frac{m(m+1)}{2}\right)^2$$

De esta manera, si el número de variables involucradas en la estimación es relativamente grande, entonces la estimación no es factible. Por esta razón el modelo VECH se ha restringido para que dependa de un número menor de parámetros. Una posibilidad es el modelo VECH diagonal, el cual fue propuesto por los mismos autores. Para el caso de dos series de tiempo, el modelo se escribe como:

$$\begin{pmatrix} h_{11t} \\ h_{22t} \\ h_{12t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t-1}^2 \\ \varepsilon_{2t-1}^2 \\ \varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & 0 \\ 0 & 0 & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_{11t-1} \\ h_{22t-1} \\ h_{12t-1} \end{pmatrix}$$

Las varianzas y covarianzas condicionales quedarían como:

$$h_{11t} = c_1 + a_{11}\varepsilon_{1t-1}^2 + b_{11}h_{11t-1} \quad (5)$$

$$h_{22t} = c_2 + a_{22}\varepsilon_{2t-1}^2 + b_{22}h_{22t-1} \quad (6)$$

$$h_{12t} = c_3 + a_{33}\varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} + b_{33}h_{12t-1} \quad (5)$$

En este modelo VEC diagonal, el número de parámetros a estimar es igual a 9, a diferencia de 21 en el caso general. El ahorro en el número de parámetros a estimar se da a costa de reducir la riqueza y flexibilidad del modelo. En el caso anterior se puede ver que las varianzas condicionales son iguales a las varianzas condicionales univariadas, esto es, la varianza condicional no depende de la volatilidad en el otro mercado. Tal parece que solamente estamos repitiendo el modelo GARCH univariado para dos series distintas. Sin embargo, en este modelo GARCH multivariado se agrega una parte novedosa, la cual consiste en la especificación de la covarianza condicional en función del tiempo.

A pesar de la reducción en el número de parámetros, aún tenemos el problema de que la matriz de varianzas y covarianzas no necesariamente es positiva semidefinida. En esta dirección Engle y Kroner (1995) propusieron el modelo BEKK.<sup>3</sup> Este modelo tiene la siguiente forma:

$$H_t = C^T C + A^T \varepsilon_{t-1}^T A + B^T H_{t-1} B \quad (8)$$

Donde  $C$  es una matriz triangular superior,  $A$  y  $B$  son matrices de  $m \times m$ . En este caso se asegura que la matriz de varianzas y covarianzas sea positiva semidefinida. En este trabajo aplicamos una versión simplificada del modelo BEKK que consiste en el modelo BEKK diagonal. Este modelo, también para el caso de dos series, tiene la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} h_{11t} & h_{12t} \\ h_{21t} & h_{22t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t-1}^2 & \varepsilon_{1t-1} \varepsilon_{2t-1} \\ \varepsilon_{2t-1} \varepsilon_{1t-1} & \varepsilon_{2t-1}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix} \\ + \begin{pmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_{11t-1} & h_{12t-1} \\ h_{21t-1} & h_{22t-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \end{pmatrix}$$

Las varianzas y covarianzas condicionales quedarían como:

$$h_{11t} = c_1 + a_1^2 \varepsilon_{1t-1}^2 + b_1^2 h_{11t-1} \quad (9)$$

$$h_{22t} = c_2 + a_2^2 \varepsilon_{2t-1}^2 + b_2^2 h_{22t-1} \quad (10)$$

$$h_{12t} = a_1 a_2 \varepsilon_{1t-1} \varepsilon_{2t-1} + b_1 b_2 h_{12t-1} \quad (11)$$

En este modelo simplificado no expresamos la varianza condicional de una serie en función de la varianza de la otra serie; sin embargo, es posible trabajar

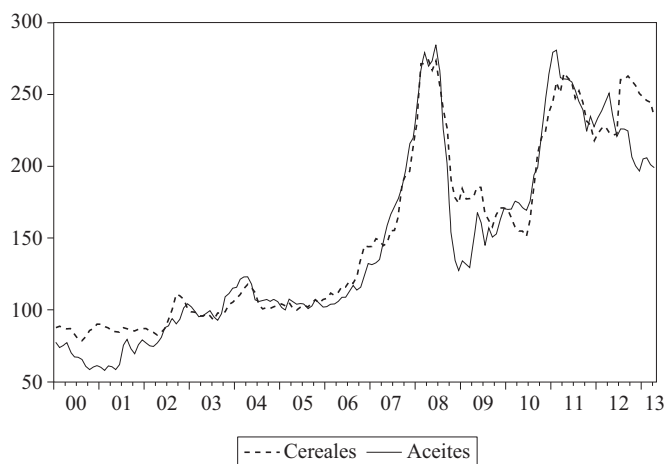
<sup>3</sup> El nombre viene del trabajo de Baba, Engle, Kraft y Kroner.

con la covarianza condicional, la cual nos indica la relación lineal existente entre las dos series.

## 2.2 Muestra utilizada

En este trabajo analizamos la volatilidad de los precios de bienes agrícolas utilizando información de la FAO sobre índices de precios de bienes agrícolas. Los precios utilizados se presentan en forma agregada y pertenecen a dos grupos: cereales y aceites. Los índices de precios consisten en promedios ponderados de precios para un conjunto de bienes en estas dos categorías. Las ponderaciones se obtienen de acuerdo a su importancia en las exportaciones mundiales. Los cereales incluyen a nueve tipos de trigo, un tipo de maíz y once tipos de arroz. Los aceites incluyen a once tipos de aceites, tanto vegetales como animales (incluyendo aceite de pescado). La información se presenta en forma mensual, de enero del 2000 a abril de 2013; es decir, se tiene un conjunto de 160 observaciones. Como se trata de índices de precios, debemos señalar que el año base fue el período 2002-2004. En la Gráfica 1 mostramos la información para estos índices de precios.

**Gráfica 1**  
**Índice de precios de cereales y aceites (2002-2004=100)**

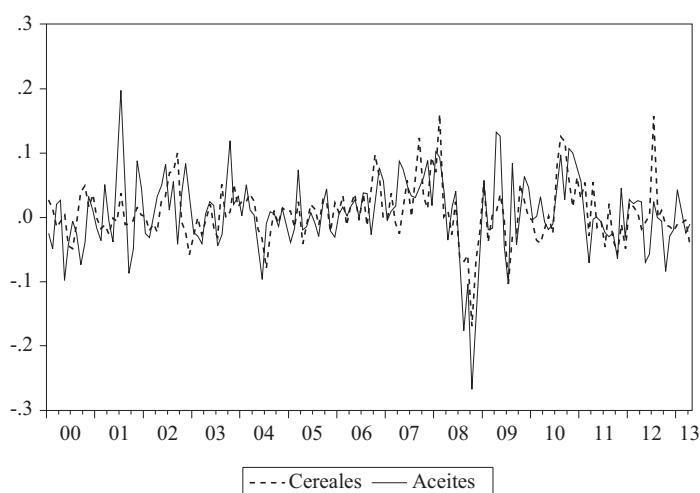


Fuente: Elaboración propia con base en datos de la FAO.

En la gráfica se puede ver que ambos índices de precios tienen un comportamiento similar. Durante el período analizado ambos índices presentan un compor-

tamiento claramente creciente, en particular se presenta un incremento notable en los períodos previos a la crisis de 2008. A partir de esta crisis se observa una caída significativa y posteriormente una recuperación. Como las series presentadas son claramente no estables es difícil poder observar si se ha presentado una volatilidad en los precios. Con este fin trabajamos las series en forma de diferencias logarítmicas,<sup>4</sup> que es aproximadamente igual al crecimiento porcentual en los índices de precios. En la Gráfica 2 presentamos las dos series en esta forma.

**Gráfica 2**  
**Diferencia logarítmica del precio de cereales y aceites**



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la FAO.

En esta gráfica se puede observar que las dos series son aproximadamente estables. Ambas presentan un crecimiento negativo durante la crisis de 2008. Por otro lado, en términos de la varianza, podemos observar que la variabilidad de las serie se ha incrementado en el período de estudio, en particular a partir de la crisis referida. También podemos observar que los precios de los aceites presentan una mayor volatilidad que los precios de los cereales.

<sup>4</sup> Las diferencias que trabajamos son diferencias simples, no diferencias estacionales. Para el caso de estas series no fue necesario llevar a cabo ningún tipo de ajuste estacional ya que las series utilizadas, al igual que muchas series financieras, no presentan un comportamiento estacional.

En la estimación de los modelos GARCH las series las trabajamos bajo la transformación anteriormente descrita, es decir, en forma de diferencias logarítmicas. Para terminar con la presentación de la información de los precios en la Tabla 1 mostramos estadísticas descriptivas para estas dos series de tiempo transformadas. Como las series transformadas son aproximadamente igual al cambio porcentual en el índice de precios, entonces tenemos que una media positiva indica que, en promedio, se presenta un crecimiento en los precios en el período estudiado. Los coeficientes de sesgo son relativamente cercanos a cero, sin embargo es de notar que para el caso de los cereales el coeficiente es positivo, mientras que el de los aceites resulta negativo. Esta situación indicaría que los valores extremos negativos son más importantes para los cereales, mientras que los valores extremos positivos los son para los aceites. En cuanto al coeficiente de kurtosis tenemos que en ambos casos el coeficiente es mayor a tres, que es el valor apropiado para una distribución normal. En este caso tenemos que los valores extremos, ya sean positivos o negativos, son importantes en la distribución de estas series.<sup>5</sup>

**Tabla 1**  
**Estadísticas de la diferencia de logaritmos**

	<i>Cereales</i>	<i>Aceites</i>
Media	0.00633	0.00574
Mediana	0.00043	0.00568
Máximo	0.15986	0.19778
Mínimo	-0.17032	-0.26842
Desviación estándar	0.04415	0.05751
Coefficiente de sesgo	0.41672	-0.58429
Kurtosis	5.66766	6.35128
Observaciones	160	160

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados

Para analizar la volatilidad, en las dos series en cuestión, estimamos modelos GARCH multivariados, en particular modelos BEKK diagonales. Sin embargo

<sup>5</sup> Típicamente en series que presentan episodios de calma y episodios de volatilidad, es decir cambios en la varianza, los valores extremos resultan muy importantes por lo que los coeficientes de kurtosis resultan significativamente mayor a 3, que es el coeficiente bajo una distribución normal. Por otro lado, la combinación de los coeficientes de sesgo y kurtosis hacen que los estadísticos Jarque-Bera resulten significativos (52.74 para cereales y 83.98 para aceites), por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad de las series.

con estos modelos solamente modelamos la varianza condicional, siendo que es importante también modelar la media condicional. Con este fin estimamos modelos de vectores autoregresivos, o VAR, para las series en forma de diferencias logarítmicas. De este modo la media la aproximamos con un VAR(1),<sup>6</sup> mientras que la varianza se modeló como un proceso GARCH (1,1) en forma de BEKK diagonal. Utilizamos este modelo porque es la forma más simple de modelar la varianza condicional.<sup>7</sup> En forma algebraica la media se modeló de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$y_{t,1} = \alpha_1 + \theta_{1,1}y_{t-1,1} + \theta_{1,2}y_{t-1,2} + \varepsilon_{t,1} \quad (12)$$

$$y_{t,2} = \alpha_2 + \theta_{2,1}y_{t-1,1} + \theta_{2,2}y_{t-1,2} + \varepsilon_{t,2} \quad (13)$$

Donde  $y_{t,1}$  representa a la primera serie de interés, digamos los precios de los cereales, y  $y_{t,2}$  al precio de los aceites. Los parámetros  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son los interceptos del modelo y los coeficientes  $\phi$ 'S son los coeficientes de los valores rezagados. Los últimos términos representan a los errores del modelo. La varianza condicional, como ya se mencionó, se modeló de la siguiente manera:

$$h_{11t} = c_1 + a_1^2 \varepsilon_{1t-1}^2 + b_1^2 h_{11t-1} \quad (14)$$

$$h_{22t} = c_2 + a_2^2 \varepsilon_{2t-1}^2 + b_2^2 h_{22t-1} \quad (15)$$

$$h_{12t} = c_3 + a_1 a_2 \varepsilon_{1t-1} \varepsilon_{2t-1} + b_1 b_2 h_{12t-1} \quad (16)$$

La estimación de los parámetros del modelo se llevó a cabo por el método de máxima verosimilitud, para lo cual se tuvo que suponer la normalidad en los errores.<sup>8</sup> Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 2, donde se hace referencia al coeficiente estimado de acuerdo con las dos ecuaciones anteriores.

<sup>6</sup> Utilizando los criterios Schwarz multivariados se optó por un proceso VAR de orden uno.

<sup>7</sup> En los modelos GARCH univariados la especificación GARCH (1,1) es la más común.

<sup>8</sup> Los resultados prácticamente no cambian cuando se utiliza la distribución "t" multivariada. En la estimación se utilizó el paquete estadístico E-Views versión 7.0.

**Tabla 2**  
**Coefficientes estimados de la media**

	Valor	Error	Estadístico	
Coefficiente	Estimado	Estándar	Z	P-Value
$\alpha_1$	0.003434	0.003454	0.994205	0.320123
$\alpha_2$	0.002887	0.003857	0.748570	0.454116
$\theta_{1,1}$	0.352072	0.081477	4.321137	0-000016
$\theta_{1,2}$	0.102691	0.051369	1.999066	0.045601
$\theta_{2,1}$	0.247076	0.099342	2.487125	0.012878
$\theta_{2,2}$	0.320476	0.088601	3.617090	0.000298
<i>Coefficientes estimados de la varianza</i>				
	Valor	Error	Estadísticos	
Coefficiente	Estimado	Estándar	Z	P-Value
$c_1$	0.000021	0.000017	1.206930	0.227459
$c_2$	0.000040	0.000025	1.576362	0.114942
$c_3$	0.000175	0.000115	1.525856	0.127046
$a_1$	0.126332	0.055874	2.261003	0.023759
$a_2$	0.291614	0.068572	4.252657	0.000021
$b_1$	0.988485	0.009079	108.871963	0.000000
$b_2$	0.919024	0.041384	22.207336	0.000000
Observaciones	160			

Fuente: Elaboración propia.

De este modo las ecuaciones estimadas son las siguientes. Para la media condicional tenemos:

$$\hat{y}_{t,1} = 0.00343 + 0.35207 y_{t-1,1} + 0.10269 y_{t-1,2}$$

$$\hat{y}_{t,2} = 0.00289 + 0.24708 y_{t-1,1} + 0.32048 y_{t-1,2}$$

La primera ecuación indica que el cambio proporcional en el precio de los cereales (diferencia logarítmica) depende de un intercepto, el valor rezagado de esta misma variable y el valor rezagado de la segunda variable, que en este caso es el cambio proporcional en el precio de los aceites. En la segunda ecuación se tiene una situación similar, solamente que la variable explicada es el cambio proporcional en el precio de los aceites.

Para la varianza condicional tenemos:

$$h_{11t} = 0.00002 + 0.01596 \varepsilon_{1t-1}^2 + 0.97710 h_{11t-1}$$

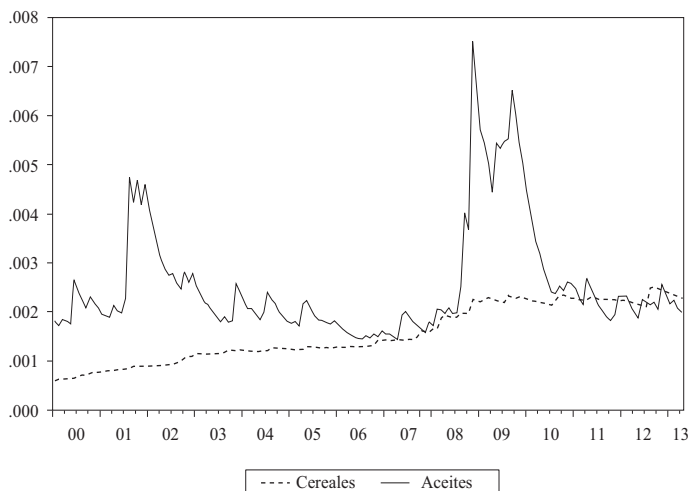
$$h_{22t} = 0.00018 + 0.08504 \varepsilon_{2t-1}^2 + 0.84461 h_{22t-1}$$

$$h_{12t} = 0.00004 + 0.03684 \varepsilon_{1t-1} \varepsilon_{2t-1} + 0.90844 h_{12t-1}$$

En la primera ecuación observamos que la varianza condicional para los cereales depende de los shocks o errores rezagados al cuadrado de la ecuación para cereales y de la misma varianza condicional rezagada. En la segunda ecuación tenemos la misma situación pero para el caso de la varianza condicional de los aceites. En la tercera ecuación tenemos la covarianza entre cereales y aceites en función de la covarianza rezagada y el producto cruzado de los shocks a estas dos series.

Con los parámetros estimados de las ecuaciones anteriores se pueden simular tanto la media condicional como la varianza condicional. Como en este trabajo nos interesa la volatilidad vamos a presentar las simulaciones para las varianzas y covarianzas condicionales. Con estas simulaciones podemos ver con más claridad las implicaciones de los resultados. En la Gráfica 3 presentamos las estimaciones de la

**Gráfica 3**  
**Varianza condicional**



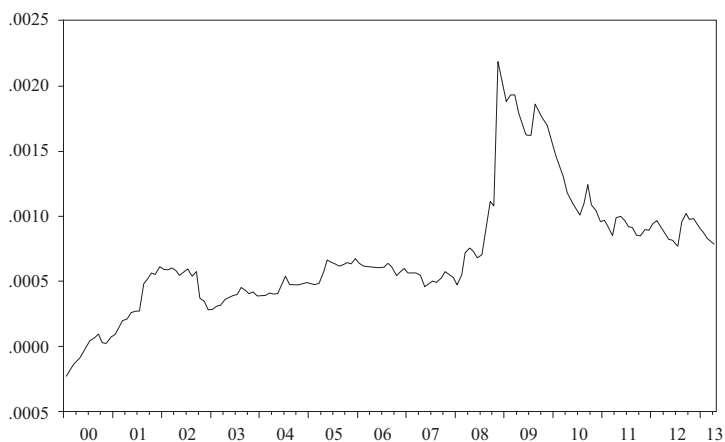
Fuente: Elaboración propia.

varianza condicional para los cereales y los aceites. Cuando la varianza condicional es grande tenemos el caso de un incremento en la volatilidad de la serie, mientras si la varianza condicional es pequeña, entonces tenemos el caso de períodos de calma.

De este modo podemos observar los períodos de mayor volatilidad para el caso de aceites, así tenemos que en los períodos 2001-2002 y 2008-2010 se presentaron episodios de volatilidad en el precio de los aceites. Para el caso de los cereales tenemos que también se presentó volatilidad en el período 2008-2010, aunque esta no fue tan pronunciada como sucedió para los aceites. Sin embargo, para el caso de los cereales tenemos que la varianza condicional (volatilidad) se ha estado incrementando en forma continua durante el período analizado.

En la Gráfica 4 presentamos los resultados para la covarianza condicional y en la Gráfica 5 la correlación condicional. En ambas gráficas podemos ver que la relación lineal entre los precios de los cereales y de los aceites cambia, de ser negativa en el año 2000 a ser positiva y muy grande en los períodos siguientes.<sup>9</sup> Resalta que la correlación entre estas dos series se ha estado incrementando en el período de estudio, es posible que una explicación para este fenómeno se puede encontrar en la utilización de estos dos tipo de productos agrícolas en la generación de combustibles, aunque también es posible que existan factores, posiblemente climáticos, que produzcan esta relación positiva entre los precios de estos bienes.

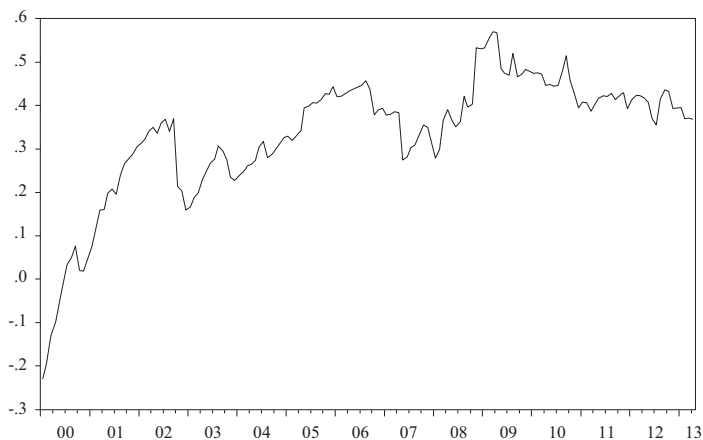
**Gráfica 4**  
**Covarianza condicional**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>9</sup> Esto se puede ver porque el coeficiente de correlación entre las dos series se encuentra en alrededor de 0.5.

**Gráfica 5**  
**Correlación condicional**



Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Si bien, la volatilidad en los precios es un aspecto característico de los mercados agrícolas y que seguramente persistirá, la exacerbación de una volatilidad extrema de precios, debido a la incertidumbre que genera en los distintos actores económicos involucrados en su determinación, puede tener consecuencias negativas para el desarrollo sectorial y en especial para la inseguridad alimentaria, fenómeno que cada vez ha merecido mayor atención por parte de los gobiernos.

En este documento hemos explorado la evolución en la volatilidad de precios de dos productos fundamentales del sector agrícola y que están ampliamente relacionados con los problemas de crisis alimentaria y sus probables riesgos para las próximas décadas. Nuestros resultados indican que los precios de los productos agrícolas analizados (cereales y aceites) están altamente correlacionados y dicha correlación se ha incrementado en los últimos años; es decir, cada vez existe una contaminación más rápida y en mayor medida entre los distintos mercados que caracterizan a los productos agrícolas, lo que hace más vulnerable a los productores agrícolas, así como menos eficaces las políticas de mediano y largo plazo.

No obstante los resultados obtenidos, es importante señalar que tal volatilidad puede reducirse con medidas que aumenten la transparencia de los mercados, disminuyan la incertidumbre y garanticen que la volatilidad refleje los aspectos

fundamentales subyacentes del mercado y no desinformación, especulación, pánico o políticas incoherentes.

La gama de instrumentos de política para enfrentar la volatilidad es amplia y las posibilidades y capacidades de los países para hacer uso de ellos varía, dependiendo de su desarrollo institucional y de sus capacidades técnicas, así como de los compromisos asumidos en acuerdos internacionales. Uno de los grandes desafíos para los gobiernos es, entonces, optimizar la combinación de instrumentos de política ante el actual contexto internacional y ante las particularidades socio-productivas de cada nación, haciendo frente a los problemas de corto plazo, pero sin dejar de lado la perspectiva del largo plazo. Y ello, frente a los compromisos internacionales adquiridos y las restricciones presupuestales propias de cada país.

Los desafíos de política, al abordar el entorno actual, son multidimensionales. El desafío esencial estriba en promover el desarrollo agrícola y la reducción de la inseguridad alimentaria, así como promover el crecimiento de la productividad, en particular para los pequeños productores mejorando su elasticidad a los choques externos y que asegure una oferta creciente para los mercados locales a precios razonables. No obstante, al reconocer que la volatilidad continuará siendo un aspecto característico de los mercados agrícolas, dadas las variaciones del clima y las posibles consecuencias adversas del cambio climático, se requieren políticas coherentes para reducir la volatilidad, por una parte, pero también para mitigar el impacto de la volatilidad sobre quienes resultan afectados en una forma más adversa.

En su mayoría, las soluciones para estos temas no son nuevas, pero añaden una mayor claridad a las respuestas de política apropiadas. De manera adicional, la comunidad internacional necesita realizar y promover foros responsables en los cuales se plantee como objetivo fundamental la elaboración de políticas de desarrollo sostenible en un ámbito de estabilidad del sistema alimentario mundial, ya que deberá ser una tarea necesaria para dotar de alimentos suficientes a la población en años futuros, reto no menor y para el cual se deben emprender acciones en una perspectiva dinámica; es decir, de corto, mediano y largo plazo.

## **Bibliografía**

- Abbott P. C., Hurt C. y Tyner W. E. (2009). *Whats Driving Food Prices?* Farm Foundation Issue Report.
- Apergis N. y Rezitis, A. (2003). "Agricultural Price Volatility Spillover Effects: The Case of Greece", *European Review of Agricultural Economics*, Vol. 30 (3), pp. 389-406.

- Baillie, R., S. Laurent y R. Myers (1991). "Bivariate GARCH Estimation of the Optimal Commodity Futures Hedge", *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 6, num. 2, pp. 109-124.
- Baffes, J. y Haniotis, T. (2010). "Placing the 2006/08 Commodity Price Boom into Perspective". Policy Research, *Working Paper* 5371. Washington, DC, The World Bank.
- Banco Mundial (2007). *World Development Report 2008: Agriculture for development*, Washington, DC, World Bank.
- Bauwens, L., S. Laurent y J. Rombouts (2006). "Multivariate GARCH Models: A Survey", *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 21, num. 1, pp. 70-109.
- Blair B. J., Poon Ser-Huang y Taylor S. J. (2001). "Modelling S&P 100 Volatility: The Information Content of Stock Returns", *Journal of Banking and Finance*, Vol. 25 pp. 1665-1679.
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity", *Journal Econometrics*, 31, 307-327-31.
- Bollerslev, T., R. Engle y J. Wooldridge (1988). "A Capital Asset Pricing Model with Time Varying Covariances", *Journal of Political Economy*, 96(1), 116-31.
- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge University Press. Segunda Edición.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (CEPAL / FAO / IICA). (2011). "Volatilidad de Precios en los Mercados Agrícolas (2000-2010)". Boletín No. 1. Santiago de Chile.
- Cover, J. y J. Hueng (2003). "The Correlation Between Shocks to Output and the Price Level: Evidence from a Multivariate GARCH Model", *Southern Economic Journal*, Vol. 70, num. 1, pp. 75-92.
- Dewachter, H. (1996). "Modeling Interest Rate Volatility: Regime Switches and Level Links", *Weltwirtschaftliches Archiv*, Vol. 132, Issue. 2 pp. 236-58.
- Doporto, Ivana y Gabriel Michelena (2011). "La Volatilidad de los Precios de los Commodities: El Caso de los Productos Agrícolas", *Revista del CEI*, número 19.
- Engle R. F. (1982). "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation", *Econometrica*, Vol. 50(4), pp. 987-1007.
- Engle, R. y K. Kroner (1995). "Multivariate Simultaneous Generalized GARCH", *Econometric Theory*, 11, 122-50 with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation".
- Gilbert C. L. (2010). "How to Understand High Food Prices", *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 61(2), pp. 398-425.

- Gilbert, C. y Morgan, C. (2010). "Food price volatility". *Phil. Trans. R. Soc. B* 2010 365, 3023-3034. (doi: 10.1098/rstb.2010.0139).
- Haigh, M. y M. Holt (2000). "Hedging Multiple Price Uncertainty in International Grain Trade", *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 82, num. 4, pp. 881-896.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
- Heady D. and Fan, S. (2008). "Anatomy of a Crisis: Causes and Consequences of Surging Food Prices", *Agricultural Economics*, Vol. 39, pp. 375-391.
- Hernández, M., R. Ibarra-Ramírez y D. Trupkin (2011). "¿Hasta Dónde se Transfieren los Choques a Través de las Fronteras? Examinando la Transmisión de Volatilidad en los Principales Mercados de Futuros", Banco de México, *WorkingPaper* núm. 2011-15.
- Hossain M. (2007). "Rice Facts, A Balancing Act, Rice Today", April-June.
- Kroner K. F., Kneafsey D. P. y Claessens S. (1993), "Forecasting Volatility in Commodity Markets", *World Bank Policy Research Working Paper*, 1226
- Karoly, A. (1995). "A Multivariate GARCH Model of International Transmissions of Stock Returns and Volatility: The Case of the United States and Canada", *Journal of Business & Economic Statistic*, Vol. 13, num. 1, pp. 11-25.
- Maneschiold, Per-Ola (2004). "Modelling Exchange Rate Volatility: Evidence from Sweden", *EconomiaInternazionale/International Economics*, Vol. 57, Issue. 2 pp. 145-72.
- Melvin, M., y B. Peirers (2003). "The Global Transmission of Volatility in the Foreign Exchange Market", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 85, num. 3, pp. 670-679.
- Mitchell D. (2008). "A Note on Rising Food Prices", *World Bank Policy Research, Working Paper*, 4682.
- Narayan P. K. y Narayan S. (2007). "Modelling oil Price Volatility", *Energy Policy*, Vol. 35 pp. 6549-6553.
- Newbery D. M. (1989). "The Theory of Food Price Stabilisation", *The Economic Journal*, Vol. 99, pp. 1065-1082.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011). "Volatilidad de los precios desde una perspectiva mundial". Documento técnico de referencia para la reunión de alto nivel sobre "la volatilidad de los precios de los alimentos y el papel de la especulación", Roma.
- (2011). "Price volatility and Crises in Global Food Markets".
- (2007). "Food Outlook Global Market Analysis". Roma. November.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) (2008). *Rising Food Prices: Causes and Consequences*.

- OCDE-FAO (2011), *Perspectivas Agrícolas 2011-2020*. OECD publishing.
- Pindyck R.S. (2004). "Volatility and Commodity Price Dynamics", *Journal of Futures Market*, Vol. 24, pp. 1029-1047.
- Radetzki M. (2006). "The Anatomy of Three Commodity Booms", *Resource Policy*, Vol. 31, pp. 56-64.
- Regnier E. (2007). "Oil and Energy Price Volatility", *Energy Economics*, Vol. 29 iss. 3, pp. 405-27.
- Robinson, L. J. y Bary, P. J. (1987). "*The Competitive firm's response to risk*". New York, Macmillan Publishing Company.
- Robles M., Torero, M., von Braun, J. (2009). "*When Speculation Matters*", International Food Policy Research Institute, Issue Brief 57.
- Rosegrant, M. W., Zhu, T., Msangi, S. y Sulser, T. (2008). "Global Scenarios for Biofuels: Impacts and Implications", *Review of Agricultural Economics*, Vol. 30, pp. 495-505.
- Sinnott, E., Nash, J. y de la Torre, A. (2010). "*Los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe ¿Más allá de bonanzas y crisis?*", Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe.
- Sumpsi, José María (2011). "Volatilidad de los mercados agrarios y crisis alimentaria". X Seminario Análisis Mercados de Materias Primas para Alimentación Animal, 21 de junio de 2011 – ASFAC (Barcelona).
- Torero, M. (2010). "*Agricultural Price Volatility: Prospects, Challenges and Possible Solutions*". Presentación en Seminario "Agricultural price volatility: prospects, challenges and possible solutions", mayo 26 – 27, Barcelona, España.
- Valadkhani, A., Layton, A. P. y Karunatne N. D. (2005). "Sources of Volatility in Australia's Export Prices: Evidence from ARCH and GARCH Modeling", *Global Business and Economic Review*, Vol. 7 No.4 pp. 295-310.
- Wei, C. (2009). "Using the Component GARCH Modelling and Forecasting Method to Determine the Effect of Unexpected Exchange Rate Mean and Volatility Spillover on Stock Markets", *International Research Journal of Finance and Economics*, ISSN 1450-2887 Issue 23, pp.62-74.
- Zheng, Y., Kinnucan, H. W. y Thompson, H. (2008). "News and Volatility of Food Prices", *Applied Economics*, Vol. 40(13), pp. 1629-1635.