

Mercados financieros y volatilidad en el precio de materias primas, una perspectiva con modelos de series temporales

Eusebio Ortiz Zarco*

Ruth Ortiz Zarco**

(Recibido: diciembre, 2022/Aceptado: abril, 2023)

Resumen

Las materias primas o commodities, son productos esenciales en las cadenas de producción internacionales, su comercialización representa uno de los mercados más grandes y volátiles del mundo. El presente documento analiza la volatilidad en el precio de las materias primas y su vínculo con los mercados financieros, mediante un análisis econométrico sustentado en series temporales, el periodo de estudio cubre de 1999 a 2022, se estimaron modelos de tipo ARCH, GARCH y *T* GARCH, mismos que permiten matizar resultados para los mercados de divisas, mercados de capitales y mercados de deuda.

Palabras clave: series temporales, mercados financieros, volatilidad, commodities.

Clasificación JEL: C01, C22, D52, F37.

* Profesor-investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, eusebio_ortiz@uaeh.edu.mx.

** Profesora-investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ruth_uaeh@uaeh.edu.mx.

Abstract

Commodities are essential products in international production chains, and their commercialization represents one of the largest and most volatile markets in the world. This paper analyzes the volatility in the price of commodities and its link with financial markets, through an econometric analysis based on time series, the study period covers from 1999 to 2022, ARCH, GARCH and T GARCH models were estimated, which allow to qualify results for foreign exchange markets, capital markets and debt markets.

Keywords: Time Series, Financial Markets, Volatility, Commodities.

Classificación JEL: C01, C22, D52, F37.

1. Introducción

Los precios de productos agrícolas, energéticos y materias primas en general, también conocidos como commodities se caracterizan por experimentar fuertes fluctuaciones, las cuales son un tema de estudio en el ámbito académico, en cuanto al modelado de las series de tiempo y sus fundamentos teórico-conceptuales. Es así, como adquiere cada vez más importancia la comprensión, explicación, naturaleza e interpretación de la volatilidad característica de los precios de las materias primas, así como las regulaciones inherentes.

La volatilidad en el precio de las materias primas es un problema que se acentuó en la década de los setenta cuando el petróleo asfixió a la economía mundial, al grado de generar altas tasas de inflación; posterior ello, se ha observado recurrentemente que los períodos de recuperación y contracción económica suelen estar asociados a problemáticas de incertidumbre en el comportamiento de los precios de las materias primas a causa de shocks en la oferta o demanda de productos.

Para ejemplo reciente, el comportamiento del precio del barril, datos de la FRED (2022) apuntan que el Brent del Mar del Norte ha sufrido amplios periodos de inestabilidad, en junio de 2008 llegó a USD\$ 138 para posteriormente en diciembre del mismo año estar en USD\$ 35.82; ya en tiempos de pandemia en diciembre de 2019 expresaba precios de USD\$ 67.77 para posteriormente en marzo de 2020 cotizar en USD\$ 14.85, posteriormente en plena recuperación hacia marzo de 2022 cotizó en USD\$ 107.29. Claramente el

precio del petróleo ha experimentado ciclos de volatilidad muy pronunciados en corto tiempo; cambios que previamente se experimentaban durante décadas o años actualmente se han llegado a experimentar ahora durante pocos meses.

El petróleo no es el único commodity que ha experimentado volatilidad, materiales como el acero, maíz, oro, gas, cobre y otros más han expresado situaciones similares. La importancia del estudio de los determinantes de la fluctuación de precios reside en la necesidad de conocer la incidencia de los mercados financieros en la volatilidad del precio de las materias primas, lo anterior con fines de modelación, fundamentación teórica y comprensión de la volatilidad de commodities.

Altos precios en las materias primas pueden llegar a ocasionar efectos en las economías y por ende en las empresas de un país, numerosos estudios coinciden en qué aumentos en los precios no necesariamente resultan beneficiosos o perjudiciales para alguna economía en sí, basta con considerar que en ocasiones los países exportadores de materias primas se ven beneficiados por altos precios de las materias primas. No obstante, puede ocasionar problemas de inflación a nivel mundial los cuales llegan a repercutir entre otros puntos en las finanzas públicas, el crecimiento económico y en general las condiciones macroeconómicas de una nación; dicho lo anterior, no se debe de especificar o analizar de modo superficial y de primer impacto las fluctuaciones de precios de las materias primas sino como un elemento multidimensional que requiere un análisis más complejo.

El objetivo del presente documento es mediante método econométrico de series temporales, determinar el impacto que ha tenido el comportamiento de algunas variables de índole financiero en la volatilidad del precio de las materias primas; mediante una metodología cuantitativa se analiza el impacto que tienen las variables financieras y sus fundamentos en la modelación de la volatilidad en precios de commodities.

El presente documento se integra por cuatro apartados, en la primera sección se genera la discusión teórica sobre comportamiento de los precios de las materias primas y la naturaleza de los mercados financieros; en la segunda parte se hace una revisión de la literatura en cuanto a estudios empíricos de series temporales que modelan volatilidad en el precio de los productos y la naturaleza de la metodología de series de tiempo; en la tercer sección se expresan dos cuestiones: por un lado, el comportamiento de las variables de índole financiero y commodities y por otro, los resultados de la modelación econométrica para que, ya en la parte final se expresen las conclusiones.

Los resultados indican los efectos que tiene el comportamiento de algunas variables de índole financiero en las materias primas siendo la conclusión más importante que la volatilidad en el precio de las materias primas se ve afectada en su mayoría por los precios del mercado de divisas, así como de capitales y deuda; la correcta toma de decisiones puede implicar beneficios y permanencia en el mercado, la econometría como técnica matemática/estadística puede ser una herramienta útil en la toma de decisiones, los mercados financieros generan volatilidad en los precios de las materias primas.

2. Consideraciones teóricas

La determinación y análisis del precio de las materias primas es una parte importante de los fundamentos macroeconómicos y financieros, generalmente los precios de los insumos son un componente esencial de la toma de decisiones, su entendimiento requiere una visión que se amplía de los mercados económico y financieros. Desde el punto de vista microeconómico, en el análisis de materias primas se abordan cuestiones que tradicionalmente son aprendidas en las universidades, focalizándose en temáticas que buscan explicar al comportamiento del consumidor, comportamiento del productor, equilibrio de mercado y en modelos un poco más complejos la integración de elementos que describen la estructura de mercado, sus distorsiones, así como la existencia de una economía abierta que pueda tener bienes negociables a nivel internacional; las teorías y postulados abren el panorama al entendimiento de determinantes, causas y hechos comprobados que permitan un mejor entendimiento, en la presente sección se realizan discusiones de tipo teórico y empírico.

Desde una perspectiva microeconómica, Samuelson (1980) ya modelaba la determinación de los precios desde un punto de vista desagregado con un esquema simple. Por un lado, asocia la interacción entre las fuerzas de oferta y demanda de un mercado, mercado en donde los consumidores integran una función de demanda que expresa la relación inversa entre el precio y la cantidad demandada. A su vez, los precios del mercado pueden generar al consumidor excedentes, se modelan otros elementos como la elasticidad de demanda que indica la relación entre cantidades demandadas de un producto respecto a variaciones en el precio; lo anterior conforme a la naturaleza del producto (si es de primera necesidad, bien de lujo, etc.); Los consumidores tienen una función de utilidad que propicia el nivel de

satisfacción que tiene el agente por el consumo de un bien o servicio; es en función de la misma y ante los precios de mercado que toman sus decisiones optimizando sus beneficios.

Por otro lado, el de los productores, la cantidad y precios de oferta consideran a las funciones de producción, los costos de producción y la disponibilidad de factores de producción (entre ellos la materia prima). Las decisiones del productor van en sintonía con la búsqueda de sus beneficios generados con base en la función de producción, el uso de nuevas y mejores tecnologías, así como el aprovechamiento de las condiciones de mercado. Innumerables son los ejemplos y ejercicios que la microeconomía proporciona en son de simplificar el razonamiento de la determinación de las cantidades y precios de equilibrio. No obstante, no son claramente especificadas las implicaciones y determinantes de contagio provenientes de variaciones de precios en mercados, en el ejercicio de la política fiscal, monetaria o la interacción con precios de activos financieros.

Bhardwaj Geetesh y Dunsby (2013) encuentran una relación más fuerte entre los precios de materias primas industriales con el comportamiento de la economía, respecto que el existente entre productos agrícolas, aunado al descubrimiento de las implicaciones de la correlación entre los precios de materias primas y acciones, efectos que son más fuertes durante periodos de contracción económica; en momentos de crisis los inversionistas por su aversión al riesgo tratan los activos antes mencionados de la misma manera.

Si bien no existe una dicotomía real entre la microeconomía y macroeconomía, desde un enfoque agregado es posible modelar más claramente el comportamiento e interacción de variables. Para efectos del presente documento se expresa la discusión en términos de variables financieras y macroeconómicas, las cuales son comprobables dada la metodología de series temporales a emplearse y la disponibilidad de datos.

Desde una perspectiva macro-financiera existen numerosos estudios que buscan especificar la naturaleza de los precios de las materias primas, para efectos de la presente investigación se englobaran los estudios/discusiones teóricas desde dos aristas, de las variables macroeconómicas y de mercados financieros, ambas desde una perspectiva teórica y con aplicaciones empíricas.

Dentro de las aportaciones con enfoque financiero, se pueden expresar múltiples desarrollos teórico-empíricos, Frankel (2008) explica las implicaciones de política monetaria en el comportamiento en los precios de las materias primas. Realizó un estudio para determinar los efectos de los movimientos provenientes de las tasas de interés Estados Unidos respecto

a 24 commodities y 5 índices de commodities, los resultados apuntan a que el azúcar, aceite de soja, maíz, trigo y caucho son los que tienen una relación más negativa con el comportamiento de las tasas de interés; No obstante, notarse que únicamente el oro, la plata, el platino y el petróleo son los que no tenían una relación negativa (tenían relación positiva-débil) con las tasas de interés.

Por su parte, D. Rossi (2013) realiza un análisis de los efectos de la política monetaria expansiva, caracterizada por aumentos de liquidez y baja de tasas de interés, así como sus impactos en los precios de las materias primas, encuentra que si bien la realización de estímulos a la economía ha mitigado parte de los problemas crediticios, el principal problema ha consistido en que las divisas han perdido poder de compra en el mercado de materias primas; los estímulos, al menos por el lado de la capacidad de compra de materias primas, no han dado buenos resultados.

Crespo et al. (2020) realizan una serie de predicciones para los productos como el trigo, la soya y el maíz basados en incorporación de modelos de series temporales junto a esquemas de ponderación bayesianos, de frecuencia ponderada de variables macroeconómicas, financieras, climáticas y fundamentales, entendiendo como fundamentales las relacionadas a los procesos de producción. Se emplean modelos AR, VAR, VEC, ARCH y GARCH; el principal resultado consiste en que las variables fundamentales del mercado, las macroeconómicas y en menor medida, las financieras, pueden ser empleadas como estimadores en el pronóstico de los precios de materias primas, los cuales reaccionan directamente por los cambios en la posición de competitividad internacional dotada por el tipo de cambio real.

Desde una perspectiva macroeconómica, estudios como el de García, *et al* (2011) buscan describir el efecto de la enfermedad holandesa, definido por la entrada en exceso de divisas a un país por efecto de aumento en los precios de materias primas que ocasiona una apreciación del tipo de cambio respecto a las divisas externas, un aumento en el precio de la divisa doméstica ocasiona afectaciones en el sector de exportación, encareciendo al mundo las exportaciones, pero abaratando las importaciones. Los autores generan una discusión en la que concluyen que herramientas como el manejo del tipo de cambio, creación de fondos de estabilización (ambos países) y políticas de tipo salarial no causen perjuicios en las finanzas públicas y privadas que mitiguen los efectos temporales de dichas distorsiones.

Las implicaciones son amplias, aumentos en las tasas de interés (expresados por política monetaria contractiva) llegan a ocasionar disminuciones en

el comportamiento de los precios de las materias primas; los efectos funcionan viceversa también, expansiones en la oferta monetaria (baja de tasas de interés) ocasionan incrementos en el comportamiento de las materias primas; en términos reales la política monetaria no tiene efectos reales en la producción, no obstante, en el precio nominal sí.

Le Clech(2013) modela con el uso de estimaciones FM, CC y DOLS (relación entre variables co-integradas) la relación que ha tenido el comportamiento de los precios de insumos en función de innovaciones tecnológicas; observan a su vez para el caso de la soya en mercados internacionales se encuentra fuera del equilibrio de largo plazo, las fluctuaciones son explicadas por cambios tecnológicos y características inherentes en la función de producción, siendo la conclusión más importante que los shocks tecnológicos implican volatilidad en los precios de materias primas, principalmente explicados por alteraciones en la estructura de precios de las mismas.

La existencia de volatilidad y sus apariciones son temas ampliamente discutidos, Carrera e Ibarlucia (2010) especifican que la existencia de esta no está asociada necesariamente a la aparición de inversionistas y mercados financieros desarrollados, inclusive en mercados derivados. Por su parte Burotto y Fabris (2016) proporciona evidencia mediante modelos GARCH multivariados la interacción entre los precios de las materias primas con su vínculo en los mercados financieros, con una muestra de 2001 a 2015 encuentran que el vínculo aumenta significativamente después del colapso financiero.

Lanteri (2012) mediante el uso de modelos de Vectores Autorregresivos Estructurales una modelación de los precios de la soya, el trigo, el maíz y el arroz para los cuales especificó como variables de tipo explicativas los índices de producción industrial, los agregados monetarios, el tipo de cambio, los inventarios y precios reales. Como resultado de la descomposición de varianza encuentra que los aumentos de precios en los Países Exportadores de materias primas generaron beneficios, no obstante, presiones inflacionarias en los países importadores de insumos; los precios de las materias primas suben ante incrementos en la producción en países desarrollados. Por otro lado, existe una fuerte correlación negativa entre el precio del petróleo y la soja; siendo el resultado más representativo que los shocks de precios se dan a causa de los incrementos en la producción de países que importan materias primas.

En lo referente al comportamiento racional de los productores, Mamingi (1996) basado en una recopilación de decenas de estudios, para diversos

países y temporalidades la relación existente entre la política monetaria y el precio de materias primas se descubrieron las premisas principales de que independientemente del nivel de desarrollo de una nación los productores aumentan su producción a medida que los precios de producción lo hacen; generalmente son las primeras conclusiones a las que se refiere un estudio de investigación, no obstante, se omite que aunado a variables de tipo agrícola, las variables de política monetaria tienen impacto (la depreciación cambiaria, el déficit en el sector público, etc.); la existencia de insuficiente infraestructura para los procesos productivos puede generar una ruptura en la idea de que los precios altos incentivan a la producción, no es un efecto unilateral.

Respecto a la elasticidad precio de la oferta, es menor a corto que en largo plazo, la principal explicación se refiere a que en el corto plazo los factores productivos son fijos y en largo plazo son variables, propiciando que la elasticidad precio oferta a largo plazo genere ante cambios en los precios de los insumos el incentivo a producir más. Se muestra así la inmovilidad del capital y los factores productivos en el corto plazo. Parte esencial de los precios y la producción consiste en entender la racionalidad de los productores, los cuales toman medidas para no generar cambios tan pronunciados en los precios, es decir, no sufrir esa ilusión por aumento de precios.

Existen enfoques de corte climático que especifican la fundamentación de precios, Bolton (2020) describe la necesidad de ecologizar el sistema financiero en pro de generar menores efectos en los mercados, volatilidad y precios por causas de cambio climático, el concepto de cisne verde se refiere a los efectos en cadena, completos, de largo plazo y en ocasiones extremos que se tiene sobre las variables determinantes de precios y cantidades de productos. Una de las funciones de los hacedores de política consiste en considerar perspectivas más amplias en la medición del riesgo sistémico que consideren, entre otras variables relevantes, el cambio climático.

Las acciones que describe Bolton(2020) en pro de mitigar el cambio climático desde una perspectiva activa por parte de la banca central es posible mediante la aplicación de regulaciones y supervisiones en el sistema financiero que permitan a los agentes que intervienen en el mercado tener una visión a más largo plazo, considerando en los portafolios de los bancos centrales variables de tipo medioambientales y financieras; asimismo a estudiar a incorporar la viabilidad de las políticas financieras en términos de estabilidad financiera y desarrollo sustentable.

El concepto de cisne verde que guarda similitud con cisne negro se refiere a los acontecimientos relacionados con el cambio climático que expresan altos

niveles de incertidumbre, no son posibles de pronosticar mediante modelaciones de series temporales o con datos pasados si no que se trata de situaciones que pueden ocasionar catástrofes extremas. El desconocimiento de riesgos provenientes del ambiente pudiera ocasionar pérdidas para las industrias a largo plazo ocasionando así considerables pérdidas de capitalización e inestabilidad financiera ocasionada por desequilibrios en los mercados de crédito; una política fiscal y monetaria adecuadas pueden evitar dichas distorsiones.

El estudio de la relación entre mercados financieros y mercados de commodities es un área que comienza a tener cada vez más auge, el empirismo mediante modelos econométricos es una ventana a la comprobación y refutación de perceptos teóricos importantes, los cuales se abordarán en la siguiente sección mediante el empleo y especificación de un modelo de series temporales.

3. Metodología

Los modelos de Heteroscedasticidad condicional surgen ante la problemática de no poder modelar con precisión series de tiempo (en niveles) que tienen altos niveles de volatilidad, siendo la opción más viable el poder modelar las series temporales en función de su volatilidad y no de sus valores nominales el objetivo a realizar. La metodología por emplearse en el presente documento consiste en el análisis de volatilidad mediante el uso y análisis de series temporales con modelos ARCH, GARCH y T-GARCH que se emplearan para medir y explicar la volatilidad en productos primarios afectados por shocks en mercados financieros.

En principio, los modelos de series temporales buscan tener componentes y estimaciones homoscedásticas, ello para que se cumplan con las especificaciones correctas de los estimadores, su significancia y por ende el coeficiente de determinación. En el caso de los modelos financieros generalmente las variables están asociadas a niveles de volatilidad más altos que algunas otras (ejemplo: variables macroeconómicas) lo que ha propiciado que la solución se torne en modelar la heteroscedasticidad misma.

La familia de modelos ARCH (modelos autorregresivos de heteroscedasticidad condicional) tienen la característica de ser modelos heteroscedásticos, en los cuales se busca la modelación por medio de elementos residuales, variables rezagadas o incluso variables de tipo exógenas el comportamiento de la media y varianza de una variable (modelos heteroscedásticos, sin

varianza constante) para lo cual, en la presente sección se comienza con la descripción de los mismos, posteriormente lo propio para modelos GARCH y T-GARCH para al final expresar modelaciones y resultados.

La especificación del modelo ARCH acorde con Brooks (2014) obedece a una especificación de la varianza residual en función de un componente constante y perturbaciones pasadas, es decir, es un modelo en el que la volatilidad es explicada por los choques aleatorios (sean positivos o negativos), tal como se describe a continuación:

$$VAR(y_t|y_{t-1}, \dots, y_{t-m}) = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m y_{t-m}^2 \quad (1)$$

El término error ϵ_t se divide en un componente estocástico z_t y una desviación estándar σ_t que cambia a lo largo del tiempo, siendo la variable aleatoria un proceso de ruido blanco:

$$\text{Siendo} \quad \epsilon_t = \sigma_t z_t \quad (2)$$

La mecánica del modelo consiste en modelar una ecuación de mínimos cuadrados ordinarios con la mejor especificación autorregresiva, para posteriormente estimar el cuadrado de los errores y modelarlos en función de parámetros rezagados del término error. Posteriormente, en busca de mejorar la modelación econométrica y buscar así una explicación residual heteroscedástica más completa se emplean los efectos GARCH, Bollerslev (1986) los define como un modelo que captura las agrupaciones de volatilidad de las rentabilidades de una serie a través de la modelación de una varianza condicional. La modelación en específico encuentra la varianza promedio a largo plazo en función del error rezagado y de las varianzas de esos rezagos de errores; siendo así una explicación más completa del comportamiento de la volatilidad.

Adicionalmente el modelo GARCH expresa en la volatilidad de la variable un componente adicional residual tal como se muestra en la siguiente ecuación, nótese que a diferencia del modelo ARCH, el modelo actual expresa un componente de varianza residual rezagado adicional σ_{t-n}^2 en la especificación de la ecuación.

$$VAR(y_t|y_{t-1}, \dots, y_{t-m}) = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m y_{t-m}^2 + \beta_m \sigma_{t-m}^2 \quad (3)$$

3.1 La modelación de la varianza

Por su parte, el modelo *T* Garch que fue una propuesta de Zakoian (1994) propone adicional a las modelaciones anteriores la incorporación de estimadores de información asimétricos, en el modelo se asume una postura que incorpora buenas y malas noticias. Ejemplo: en una serie de tiempo financiera de índice bursátil la buena noticia sería un alza en el rendimiento del índice.

$$VAR(y_t|y_{t-1}, \dots, y_{t-m}) = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p [\alpha_i |e_{t-i}| + \gamma_i D_{1t-1} |e_{t-i}| + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}] \quad (4)$$

Se utiliza el modelo en función de la posible existencia de efectos de información no simétrica. Autores refieren que dichas modelaciones pueden explicar más claramente algún tipo de mercados, como lo es el caso de los de tipo emergentes o de materias primas, Mun y Kun (2013) con aplicaciones en mercados de Malasia y Lorenzo y Ruiz (2014) con aplicaciones en Latinoamérica entre otros refieren los resultados.

3.2 Descripción de variables y estadística descriptiva

Previo a la especificación econométrica, se presentan a continuación las variables a emplear en las modelaciones junto con la estadística descriptiva de las mismas. Las variables para considerar provienen de mercados financieros y son las siguientes:

EUR/USD: Tipo de cambio euro- dólar (diario, calculado con el promedio de precio de apertura y de cierre de la sesión). De acuerdo con datos de la FRED (2022) expresado en dólares americanos por euro. Se emplea para considerar el mercado de divisas, siendo el cruce de acuerdo con datos del Banco de Pagos Internacionales (2019) Euro/dólar el 24% de las transacciones mundiales de divisas, que en su totalidad de mercado supera los 6 billones de dólares diarios en transacciones.

SP500: Índice bursátil del mercado americano que contiene información de las 500 empresas de mayor capitalización en el mercado americano, expresado en puntos, la ponderación del índice considera a las empresas de mayor capitalización que operan como emisoras en el mercado de capitales americano. Variable representativa del mercado americano, dado que capturan dichas empresas alrededor del 80% de capitalización del mercado americano. La periodicidad de los datos es diaria y se expresa en puntos. Obtenido en Nasdaq.com

T-Bond: Tasa de interés de bonos del tesoro a 13 semanas (3 meses) cotizados en los mercados secundarios, variable expresada en puntos porcentuales con periodicidad diaria. Se considera una tasa representativa por las implicaciones que tiene en los mercados internacionales de deuda a través de los mercados interbancarios y comerciales.

En lo que respecta a las variables de materias primas o commodities se tienen las siguientes:

Brent: Precio del Crudo de barril de petróleo Brent en el mercado NY Mercantile Exchange, con cotización diaria, expresado en dólares por barril de petróleo. Se considera un mercado representativo de materias primas por las fuertes implicaciones de los productos energéticos en prácticamente todas las industrias a nivel mundial. El precio Brent es uno de los referentes en el mercado mundial de petróleo junto con el West Texas International WTI. Ambos valores están muy correlacionados.

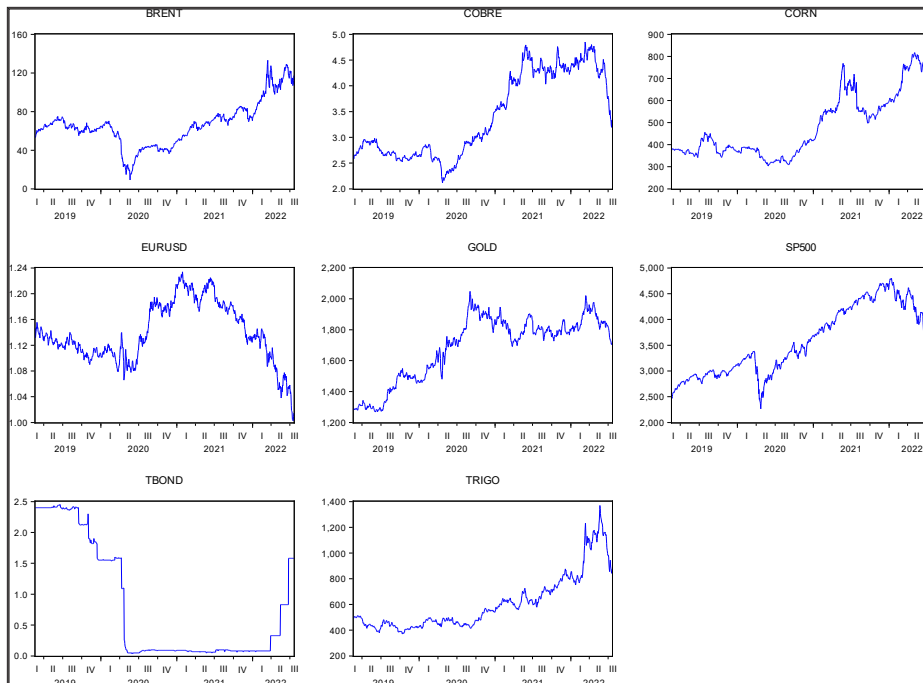
Trigo = Precio del trigo, cotización diaria, dólares.

Gold- Cotización de la onza de oro en el Chicago Mercantile Exchange, dólares por onza.

Cobre: Precio del cobre UNITH en el Chicago Mercantile Exchange, dólares americanos con periodicidad diaria.

Corn: Precio del Maíz, cotizado en el mercado de Chicago Board of Trade, periodicidad de datos diaria, expresado en dólares americanos.

Gráfica 1
Evaluación de las variables de estudio, periodo: 2019-2022



Fuente: elaboración propia en eviews con datos de FRED (2022).

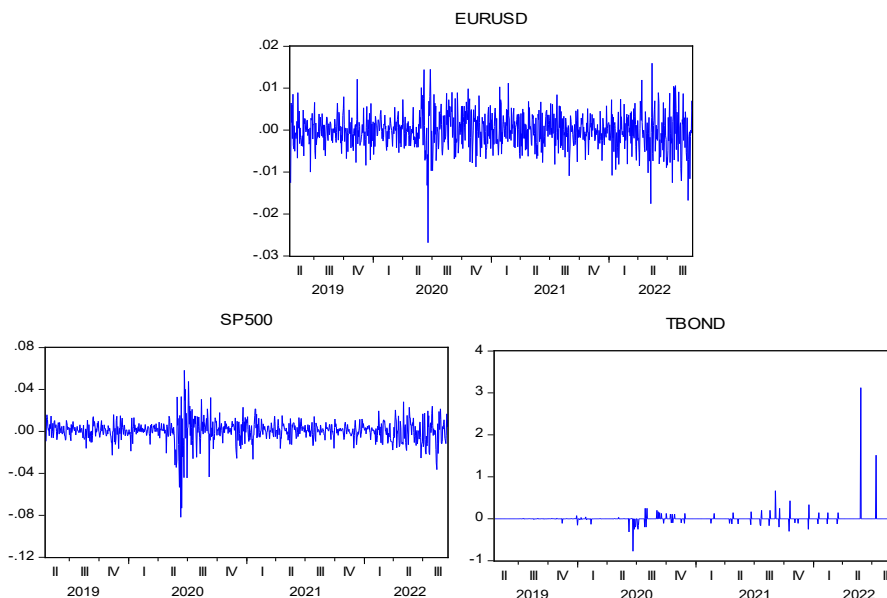
En la tabla 1 se expresan los resultados de indicadores de estadística descriptiva de las variables a emplear, en principio dichos indicadores muestran un comportamiento volátil (ver tabla 1). Una vez especificadas las variables y sus estadísticos descriptivos se observa de manera gráfica y con parámetros de dispersión que las variables cuentan con volatilidad. Para efectos de capturar de manera gráfica más contundentemente los valores de las variables, se expresan las mismas en primeras diferencias. Las correspondientes a la gráfica 2 son las variables de tipo commodities o materias primas.

Fuente: elaboración propia en E-views con Chicago Mercantil Exchange y Yahoo finance (2022).

Para la realización de la modelación econométrica de Tipo ARCH, para las variables a emplear se tienen datos en primeras diferencias. Es de notarse que la volatilidad observada en las mismas es una condición presente y necesaria para la caracterización de modelos heteroscedásticos.

Ahora bien, al igual que los commodities, en las variables de mercados de divisas, capitales y deuda se observan de manera gráfica periodos de volatilidad ; caso especial son los movimientos originados en los bonos del tesoro, en los cuales los movimientos son más específicos y puntuales, en efecto a causa de que sus movimientos no se manejan de manera automática con ajustes en el mercado por oferta y demanda, sino que se realizan como consecuencia de movimientos planeados por los hacedores de política monetaria con calendarios incluso establecidos al respecto. Claramente obedece el último a las vertientes de política monetaria.

Gráfica 3
Variables de mercados financieros en diferencias



Fuente: elaboración propia en evIEWS con datos Yahoo finance (2022).

Para realizar modelos ARCH, GARCH y TGARCH es necesario cumplir con la condición de heteroscedasticidad condicional, se busca modelar el comportamiento residual; la heteroscedasticidad expresa que la variable a analizar tiene un comportamiento realmente volátil, siendo la especificación por medio de variables, residuos o dummies la posible y convincente explicación del comportamiento volátil de estas, el grado de ajuste no busca necesariamente modelar un nivel de la variable sino su comportamiento mediante valores medios y volatilidad.

El primer paso, es la realización del test Breusch Pagan (1979), el cual permite identificar la dependencia de la varianza residual en función de algunas variables independientes, entre las que se pueden incluir residuos cuadrados, “Good news”, o incluso algunas variables independientes.

Siendo la ecuación:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{li} + \epsilon_i \quad (5)$$

Se tiene una distribución de cuadrado de residuos explicado por la siguiente ecuación:

$$Z\hat{\epsilon}_i^2 = \theta_0 + \theta_1 kl_i + \dots + \theta_p xp_i + \mu_i \quad (6)$$

La hipótesis nula de la prueba consiste en la existencia de los estimadores $\theta = 0$. Significaría que el modelo es homoscedástico, la varianza del residual sería constante, ante lo cual no habría posibilidad de realización de modelos autorregresivos de heteroscedasticidad condicional.

Ahora bien, se procede a la realización de una regresión con la finalidad de especificar la existencia de efectos ARCH en las variables, la tabla 2 expresa el comportamiento del cual se especifica la regresión siguiente:

$$\epsilon^2 = c + \epsilon_{-1}^2 + \dots + \epsilon_{-n}^2 + \epsilon \quad (7)$$

A continuación, se presenta el resultado en la tabla 2 de la existencia de efectos ARCH en las variables dependientes (commodities), siendo claramente la prueba F , en especial el dato Probabilidad el cual determina la existencia o no de efectos ARCH, se realiza únicamente en las variables de commodities debido a que la explicación de volatilidad es a causa de alteraciones en los mercados financieros.

Tabla 2
Efectos ARCH en variables dependientes

Variable	Existencia de Efectos ARCH	
	Prob. F (1 1888)	Prob. Chi-Square (1)
petróleo	0.0000	0.0000
cobre	0.0002	0.0002
maíz	0.0040	0.0040
oro	0.0000	0.0000
trigo	0.0000	0.0000

Fuente: elaboración propia en eviews.

Las variables commodities en diferencias expresan efectos ARCH, la volatilidad de las variables puede ser explicada por los rezagos de los errores de la serie. Dados los objetivos de determinación de modelaciones eficientes de volatilidad, en la tabla 3 se expresaran modelaciones que incorporen variables adicionales de tipo GARCH y variables explicativas (de mercados financieros), en la parte posterior de dicha tabla se explica el comportamiento de la volatilidad de las variables commodities en función de efectos autorregresivos y de variables financieras.

Las variables de índole financiero (explicativas) indican el impacto que tienen los valores de variables financieras en el comportamiento de la volatilidad de algunos de los principales commodities, los resultados a continuación en la tabla 3.

Tabla 3
Volatilidad de commodities explicados por ARCH, GARCH
y variables financieras

Coefficientes	Petróleo	Cobre	Maíz	Oro	Trigo
Ecuación de la media					
C	-0.003812 **	0.000507	0.000557***	0.003272*	0.000320
Vardep (1)	-0.022802 ***	0.204358*	0.335626*	-0.175153*	0.432761*
Ecuación de la varianza					
Efectos ARCH GARCH					
C	0.000799*	0.0000237*	0.0000620*	0.000230*	0.000073*
Resid(-1)^2	0.222219*	0.117784	0.244576*	0.226453*	0.118489*
Resid(-2)^2	0.107294**	0.114716*	0.184994*	0.145755*	0.135138*
Resid(-3)^2			0.069838	0.345301*	0.030473
GARCH (-1)	-0.313664*	-0.215928*	0.189683		0.428377
GARCH (-2)	-0.074033*	0.798623*	-0.081853		-0.023093
GARCH (-3)			0.013243		-0.040163
Variables Mercados financieros					
SP500	-0.022375*	0.000736*	-0.001098*	-0.000938	-0.018620**
EUR/USD	0.040141*	-0.00402	0.002524*	-0.005487*	0.001539
Tbond	-0.000838*	0.0000203**	-0.000265*	-0.00542**	-0.00644***
Indicadores					
R1	0.016704	0.050774	0.094786	0.020731	0.178330
Akaike	-4.049254	-6.175269	-6.083473	-4.418728	-5.722355
Schwarz	-3.995468	-6.121483	-6.018930	-4.364942	-5.657811

Fuente: elaboración propia en eviews, nivel de significancia*=99%, **=95% y ***=90%.

Los resultados son interesantes, modelan en la parte posterior de la tabla el comportamiento de la media de la variable, el cual se puede traducir como el crecimiento normal de los precios de las materias primas (tendencia a mediano y largo plazo), el cual no es sujeto a volatilidad. Posterior a ello, mediante los efectos ARCH y GARCH se observa el comportamiento de los mercados financieros y sus implicaciones, para el caso del petróleo se tiene que los aumentos en el mercado de capitales y deuda expresan disminuciones en los niveles de volatilidad de la variable, caso opuesto del mercado cambiario. Para el cobre sucede una reacción opuesta, incrementos en los

niveles de índice accionario y de tasa de interés aumentan volatilidad del precio del cobre, caso opuesto con el mercado de divisas.

El maíz y el trigo observan efectos similares, aumentos en los valores de mercado de capitales y deuda generan disminución en los niveles de volatilidad de sus precios, el mercado cambiario en cambio genera disminuciones en la volatilidad. Caso interesante es el precio del Oro, para el cual aumentos en los indicadores de los tres mercados generan disminuciones en la volatilidad de su precio, buena parte fundamentado en la consideración de dicho activo como un refugio de inversionistas. Claro está, los niveles de significancia de las variables en las estimaciones son generalmente arriba del 90% en términos estadísticos.

A la volatilidad se le pueden añadir componentes adicionales a los modelos autorregresivos de heteroscedasticidad condicional. Tal es el caso de los efectos de las “buenas” o “malas” noticias del mercado mismo, la modelación *T-Garch* obedece al establecimiento de un comportamiento de información asimétrica que pudiera interferir con la modelación de la volatilidad como a continuación se establece de manera formal:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon_{t-1}^2 + \gamma_1 d_{t-1} \epsilon_{t-1}^2 + \gamma_1 h_{t-1} \quad (8)$$

$$d_{t-1} = \begin{cases} 1, & \epsilon_{t-1} < 0 \\ 0, & \epsilon_{t-1} > 0 \end{cases}$$

Algún *shock* de información de aumento en el precio de una de las materias primas pudiera desencadenar un efecto en el aumento o disminución de la volatilidad.

Tabla 4
Modelo T-Garch

Coefficientes	Petróleo	Cobre	Maíz	Oro	Trigo
Ecuación de la media					
C	0.002004*	0.000294	0.000357	0.000339	0.000245
Vardep (1)	-0.093377*	0.236633*	0.410579*	0.277978*	0.440936*
Ecuación de la varianza					
Efectos ARCH GARCH y T-GARCH					
C	0.0000331*	0.000180**	0.0000270*	0.000044*	0.000022*
Resid(-1) ²	0.072941*		0.512277*	0.145532*	0.149575*
Threshold (1)	0.184947*	0.111935*	-0.160830**	-0.082496**	0.050823***
GARCH (-1)	0.802198	0.804019*	0.423923*	0.823678*	0.730507*
Indicadores					
R ¹	0.002967	0.051692	.0085214	0.091848	0.178018
Akaike	-4.483110	-6.138768	-6.115164	-6.984890	-5.725834
Schwarz	-4.450838	-6.111875	-6.077513	-6.952619	-5.693562

Fuente: elaboración propia en e-views, nivel de significancia*=99%, **=95% y ***=90%.

La interpretación de los modelos TGARCH resulta diferente respecto a las modelaciones anteriores, para efectos de las estimaciones de petróleo, cobre y trigo las buenas noticias generan mayor volatilidad, aumentos en sus precios generan aún más volatilidad en sí. En cambio, para las estimaciones de maíz y oro el coeficiente es negativo, representando que aumentos en sus precios no necesariamente generan aumentos en su volatilidad, dicho concepto es totalmente cierto, dado que los aumentos en los precios del oro o del maíz como materia prima generalmente no son seguidos de movimientos volátiles en sí.

Los resultados tienen implicaciones que son importantes a considerar por los agentes del mercado, la volatilidad es un fenómeno que afecta las proyecciones y planeaciones financieras de las compañías; numerosas son las empresas que llegan a tener afectaciones financieras por problemas derivados en los abruptos cambios de precios. Las materias primas son una parte estructural del encadenamiento productivo en términos de fijación de precios de los productos elaborados; el modelar series heteroscedásticas (volátiles) fundamentadas en explicaciones de mercados financieros resulta

una importante aportación empírica, generalmente las influencias e impactos de los mercados financieros en demás mercados o variables no son sujetos de discusiones teórico y empíricas. La presente aportación especifica los efectos en la volatilidad de mercados en las decisiones de tipo económicas que los emprendedores deben de considerar para una mejor toma de decisiones que genere beneficios a la compañía.

4. Conclusiones

Para los agentes en el entorno financiero las estrategias y planificaciones financieras juegan un papel importante, es imprescindible que una organización tenga información útil y confiable para la toma de decisiones que permitan a la organización tener claridad y certeza en sus rendimientos y beneficios. Se estudiaron las implicaciones movimientos en los mercados financieros de deuda, capitales y divisas en la volatilidad observada del comportamiento de precios de una muestra de materias primas.

La volatilidad en los precios de materias primas ha sido un problema recurrente en estudios empíricos y teóricos, se discutieron aportaciones como las de Clech (2013), Crespo (2020) y D Rossi (2013), estudios empíricos que fundamentan la necesidad de incorporar estudios serios de las implicaciones y relaciones de los mercados financieros con los precios de las materias primas. Para el presente capítulo se emplean variables de periodicidad diaria (lunes a viernes) del 18 de febrero de 2019 al 20 de julio de 2022. Siendo los commodities estudiados el petróleo, maíz, trigo, cobre y oro. Por el lado de los mercados financieros se emplean variables de mercados representativos, por un lado, el tipo de cambio más empleado en el mundo, la paridad dólar estadounidense-euro (mercado de divisas), tasa de fondos de la FED para el mercado de deuda y el índice bursátil S&P500 para el mercado de capitales.

Se realizan modelos de tipo ARCH, GARCH y T GARCH para modelar el comportamiento y explicaciones posibles de la volatilidad en el precio de materias primas, los hallazgos más importantes son los siguientes, claro está fundamentado en las metodologías mismas que cumplen con los criterios de heteroscedasticidad en las variables y pruebas de significancia de parámetros.

Las buenas noticias o incrementos de precios en materias primas generan más volatilidad en el trigo, petróleo y cobre; en cambio reducen la volatilidad en el oro y maíz. Dicho efecto fundamentado en el comportamiento de precios

de los dos últimos, los cuales generalmente expresan comportamientos más uniformes a lo largo del tiempo. En lo que respecta a los impactos del comportamiento de variables financieras en la volatilidad de commodities se tienen en general los resultados siguientes:

El mercado de divisas genera mayor volatilidad en el precio del petróleo, seguido del oro y trigo, para el caso del oro y maíz reducen la misma conforme se dan procesos de depreciación del dólar respecto a divisas externas. El resultado se fundamenta en que, a diferencia del oro, el petróleo es una materia prima altamente negociada y con relación en el mercado de producción, así como en la negociación de divisas. No obstante, el oro un activo de refugio.

Por el lado del mercado de capitales, se expresan sus efectos de aumentos en los índices bursátiles con una reducción en la volatilidad del precio de materias primas a excepción del cobre. Dicho resultado se debe a que en momentos de baja en los mercados bursátiles o cracks es cuando los inversionistas y agentes económicos tienden a distorsionar sus decisiones de consumo e inversión que generan altos niveles de volatilidad en las materias primas; caso diferente cuando se dan los procesos de crecimiento en los mercados financieros, los movimientos de los precios de las materias primas se dan de manera más uniforme, con menos volatilidad.

El caso del mercado de deuda, que obedece en parte los movimientos producto de las decisiones de política fiscal, expresa movimientos similares al mercado de capitales, los aumentos de tasa de interés (política contractiva) están asociados a disminuciones en la volatilidad de los precios de las materias primas antes mencionadas, a excepción del cobre. Explicado porque aumentos en las tasas de interés generan costos más altos de los recursos financieros, los cuales generalmente ya no son empleados con fines especulativos. En la política monetaria hay ámbito de acción para moderar la volatilidad de algunos precios de commodities.

La aplicación de modelos econométricos en las finanzas, en la volatilidad y especificación de precios de materias primas ha tenido previamente estudios empíricos que se han ido perfeccionando en son de aumentar la capacidad de modelación de procesos existentes en series temporales, la presente aplicación pretende aportar al campo del empirismo una aplicación formal que sea útil para el emprendedor y su toma de decisiones. Los resultados expresados anteriormente son coherentes con algunas conjeturas y sirven como guía para la toma de decisiones en la organización.

Para los agentes financieros el conocimiento de los mercados es un punto crucial para entender los determinantes de las estructuras de precios de los

productos, el uso de modelos de heteroscedasticidad condicional puede aportar al conocimiento y a la discusión teórica y empírica en pro de fundamentar los movimientos de los precios de materias primas, con el fin de expresar los determinantes de la volatilidad para ser considerados en el pensamiento y formulación de planes financieros de los agentes financieros, permitiéndoles así lograr un rendimiento óptimo en sus decisiones. La econometría, las finanzas de la empresa y los mercados financieros son una ventana de información para la toma de decisiones.

Referencias

- Banco de Pagos Internacionales (2019). Foreign Exchange turnover in april 2019, Triennial central Bank Survey, *Monetary and Economic Department*.
- Bollerslev Tim (1986). Generalized Autorregressive Conditional Heteroskedasticity, *Journal of Econometrics*, vol. 31. No. 2.
- Bolton, Patrick *et. al* (2020). The green swan, Basel, Banco Internacional de Pagos.
- Breusch Trevor S y Pagan Adrián (1979). A simple test for Heteroscedasticity and Random Coefficient variation, *Econometrica: Journal of econometric Society*, vol. 94.
- Burotto Ravanal N. y J. Fabris (2016). Transmisión de la volatilidad entre los mercados de materias primas y los mercados de activos financieros, *Revista de Investigación en modelos financieros, Universidad de Buenos Aires*, vol. 2.
- Carrera Bastourre, D. y J. Ibarlucia (2010). Precio de los commodities: factores estructurales, mercados financieros y dinámica no lineal, *Investigaciones Económicas, BCSA*, núm., 6.

- Crespo Jesús, Hlouskova Jaroslava y Obersteiner Michael (2020). Agricultural commodity Price dynamics and their determinants: A comprehensive econometric approach, *Journal of Forecasting*, vol. 40.
- Dunsby Adam y Bhardwaj Geetesh (2013). Disponible en: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2005788> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2005788>.
- Federal Reserve Economic Data (2022). *Economic Research Resources*, USA.
- Frankel Jeffrey (2008). The effect of Monetary Policy on Real Commodity Prices, *University of Chicago Press*.
- García de la Cruz José Manuel; Sánchez Díez Ángeles y del Sur Ana (2011). Comercio Internacional, materias primas y enfermedad holandesa: Estudio comparativo de Chile y Noruega, Reunión de Economía Mundial, Jaén España.
- Langeri Luis N. (2012). Determinantes de los precios reales de las materias primas agrícolas. El papel de los inventarios y de los factores macroeconómicos (2960-2010), *Lecturas de Economía*, Universidad de Antioquía, núm. 77, ISSN: 0120-2596.
- Le Clech Nestor Adrián (2013). Determinantes del precio Internacional de la soja, *Revista Atlántica de Economía*, vol. 2, Buenos Aires.
- Lorenzo Valdés Arturo y Ruiz Porras Antonio (2014). Un modelo TGARCH con una distribución t de student asimétrica y la hipótesis de racionalidad de los inversionistas bursátiles en Latinoamérica, MPRA.
- Mamingi Nlandu (1996). The impact of prices and macroeconomic policies on agricultural supply: a synthesis of available results, *Agricultural economics*, No. 16.
- Mun Lim Ching y Kun Sek Siok (2013). Comparing the performances of GARCH-Type models in capturing the stock market volatility in Malaysia, *Procedia, economics And finance*, vol. 5.
- Rossi Guillermo D. (2013). La volatilidad en mercados financieros y de commodities, *Invenio*, vol. 16, No. 30.
- Samuelson Paul (1980). *Economía*, Mc Graw Hill, México DF.