



---

# **Universidad de Valladolid**

## **Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en Economía**

### **Caracterización de los rendimientos diarios del mercado de metales preciosos: Evidencia empírica y propiedades estadísticas**

Presentado por:

***Elena Maria Ramos Franco***

Tutelado por:

***Ana Pérez Espartero***

*Valladolid, 1 de Noviembre de 2024*

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCION.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2. METALES PRECIOSOS: DESCRIPCIÓN Y CONCEPTOS.....</b>                                 | <b>4</b>  |
| 2.1 <i>Mercado de Commodities .....</i>   | <i>4</i>  |
| 2.2 <i>Precios y rendimientos.....</i>  | <i>6</i>  |
| <b>3. REGULARIDADES EMPÍRICAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS .....</b>            | <b>9</b>  |
| 3.1 <i>Análisis descriptivo.....</i>  | <i>9</i>  |
| 3.2 <i>Contraste de Normalidad.....</i>   | <i>13</i> |
| <b>4. PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS RENDIMIENTOS .....</b>                                 | <b>15</b> |
| 4.1 <i>Autocorrelación en los rendimientos .....</i>                                      | <i>15</i> |
| 4.2 <i>Autocorrelación en los rendimientos cuadráticos y absolutos. Efecto Taylor. 18</i> |           |
| 4.2. <i>Leverage effect.....</i>  | <i>19</i> |
| <b>5. SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS AL CICLO ECONÓMICO .....</b>                         | <b>22</b> |
| 5.1. <i>Propiedades en el periodo pre-Covid .....</i>                                     | <i>23</i> |
| 5.2. <i>Propiedades en el periodo post-Covid.....</i>                                     | <i>27</i> |
| 5.3. <i>Propiedades en el periodo guerra Ucrania-Rusia .....</i>                          | <i>31</i> |
| <b>6. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>  | <b>36</b> |

## 1. INTRODUCCION

Las commodities o materias primas son materiales tangibles con la que se pueden comerciar, comprar o vender. Estas materias generan un mercado muy amplio y son esenciales tanto en la economía como para la política global.

Al centrarnos en el mercado de los metales preciosos (oro, plata, platino y paladio) debemos que tener en cuenta lo que espera un inversor en este ámbito, y es rentabilidad en sus activos. Esta rentabilidad según el metal estudiado será mayor o tendrá diferentes objetivos como monetarios (oro y plata) o beneficiarios para diferentes industrias (paladio o platino).

En este trabajo se analizarán las propiedades de los rendimientos del mercado de metales preciosos con el objetivo de identificar si presentan ciertas propiedades, conocidas como hechos estilizados, que suelen ser comunes en las series de rentabilidades financieras.

Los hechos estilizados hacen referencia a una serie de características empíricas que han sido observadas de manera recurrente en diversos estudios de series de rendimientos financieros, entre las que se incluyen:

- Distribuciones marginales con media cero y con exceso de curtosis que, en algunas series de rendimientos, pueden ser asimétricas.
- Autocorrelaciones de los rendimientos simples no significativos.
- Autocorrelaciones de rendimientos cuadrados y absolutos significativos y con las siguientes características:
  - Positivas y pequeñas en magnitud.
  - Correlaciones de los rendimientos absolutos mayores que los rendimientos cuadrados.
  - Decaen lentamente hacia cero.
- En algunas series, correlaciones cruzadas negativas entre rendimientos y volatilidades futuras, lo que se denomina como Leverage Effect.

Este trabajo está estructurado en cinco secciones. En esta primera sección, se introduce el tema de estudio. La segunda sección se dedica a describir las fuentes de los datos y el comportamiento de cada metal, además de ofrecer un análisis breve de sus precios y rendimientos durante el periodo general estudiado.

En la tercera sección se realiza un estudio sobre la distribución de los rendimientos de los metales analizados, profundizando en el análisis de los rendimientos dinámicos, centrándose en la curtosis y la asimetría, para comprobar si se ajustan a las características de los hechos estilizados. También se contrastará las hipótesis de normalidad mediante los tests de Jarque-Bera y Kolmogorov-Smirnov.

La cuarta sección examina otros hechos estilizados relacionados con las propiedades dinámicas de las rentabilidades de los diferentes metales preciosos, tales como:

- Autocorrelación en rendimientos simples.
- Autocorrelación en las rentabilidades absolutas y cuadradas.
- Efecto Taylor.
- Efecto apalancamiento o "leverage effect".

Finalmente, en la quinta sección, se repite el análisis para tres subperiodos, el primero desde 3 de enero de 2018 hasta el 17 de enero del 2020, para poder analizar el periodo prepandemia, el segundo periodo cubrirá la pandemia y sus efectos posteriores, desde el 21 de enero de 2020 hasta el 23 de enero de 2022. El último periodo se llevará a cabo desde el 24 de febrero de 2022 hasta el 28 de marzo de 2024, centrándonos en la Guerra de Ucrania.

Esta división en subperíodos nos permitirá obtener una versión más detallada del comportamiento de los rendimientos de este mercado y analizar si estas crisis o eventos han afectado de una manera diferenciada a cada grupo de metales tanto respecto al periodo general, como con los estudios relacionados a estos mercados de commodities.

## 2. METALES PRECIOSOS: DESCRIPCIÓN Y CONCEPTOS

### 2.1 Mercado de Commodities

Las commodities son esenciales para el comercio como material tangible. Estas commodities o materias primas, al encontrarse en la naturaleza sin procesar, no tienen ningún valor añadido más allá de su propio uso. Sin embargo, el comercio de commodities es fundamental para la economía global, puesto que estas materias primas son utilizadas en la producción de una amplia gama de bienes y servicios.

Estas materias primas se pueden clasificar en varios grupos:

- Agrícolas (maíz, arroz, trigo...).
- Metales, con su división entre metales industriales (acero, hierro, aluminio, cobre) y preciosos (oro, plata, platino y paladio),
- Energía (petróleo, gas y carbón)
- Cárnicos (ganados y carnes de res entre otros).

En este mercado tan amplio, existen dos tipos de operaciones para poder adquirirlas:

- Mercado al contado: el pago se realiza al contado y la materia prima se entrega inmediatamente.
- Mercado de futuros o bolsas de commodities: se negocian las materias primas mediante contratos de futuros en los que se fijan por adelantado la cantidad y el precio para una venta posterior. Esa negociación es similar a la compraventa de acciones, de manera que existen brokers de futuros que adquieren contratos, que pueden ser revendidos o recomprados.

En este trabajo, nos vamos a centrar en los metales preciosos y los estudiaremos en el mercado a futuros en las diferentes bolsas del mundo.

El mercado de los metales preciosos tiene un alto valor económico y es altamente utilizado no solo en industria sino también en joyería o como inversión. Los metales preciosos pueden servir como depósito de valor, barómetro del riesgo, diversificador de las carteras de activos y para el desarrollo económico de los países que dependen en gran medida de las exportaciones de metales preciosos.

En las dos últimas décadas, la diversificación de estos activos ha aumentado gracias a una mayor integración e interdependencia de los mercados financieros internacionales. La creciente financiación de los mercados de materias primas ha hecho que sus precios sean más volátiles, aumentando así su riesgo.

A continuación, se analizarán las características generales de cada metal precioso, así como los principales factores que influyen en sus rendimientos.

- Oro

Es definido como un bien de lujo, pero también es conocido por ser un valor refugio, ya que nos ofrece seguridad en épocas de crisis o incertidumbre. El oro es fundamental tanto para la estabilidad económica como para la contención de la inflación.

EEUU tiene muchos intereses en esta materia prima, puesto que como veremos más adelante, el oro se negocia mayoritariamente en los mercados internacionales en dólares estadounidenses y los cambios en el valor del dólar tienen un impacto significativo en su precio. Factores como las tensiones geopolíticas o medidas de políticas fiscales, también generan fluctuaciones en las reservas o inversiones de oro en el mundo.

Para analizar el mercado del oro, se utilizarán los datos de COMEX, una de las cuatro divisiones del Chicago Mercantile Exchange Group (CME) en Estados Unidos, que representa el mercado de commodities más relevante.

- Plata

Este metal, además de su amplio uso en joyería, desempeña un papel crucial en diversas aplicaciones industriales y tecnológicas, como la fotografía y los equipos eléctricos.

Tiene un comportamiento muy similar al oro: los inversores a menudo compran plata en forma de lingotes, monedas o a través de fondos de inversión especializados en metales preciosos, para diversificar sus carteras y protegerse contra la inflación y la volatilidad del mercado. Esto quiere decir que, como el oro, es muy sensible al ciclo económico y a la demanda industrial antes comentada.

Los principales compradores de este activo se concentran en Estados Unidos, por lo que los datos relacionados con esta variable se han obtenido a partir de la información proporcionada por COMEX, como el oro.

- Platino

El platino es un metal blanco, que es aún más raro en la naturaleza que el oro. Se utiliza tanto en joyería como en otros usos industriales, concretamente en aplicaciones de automoción y químicas.

Una gran parte de los inversores compra platino como materia prima, mientras que otros entran en el mercado con el objetivo de beneficiarse de las fluctuaciones en el precio de este metal precioso, buscando en consecuencia que el valor de este metal sea volátil para sacar la mayor ganancia en el menor tiempo posible.

Para analizar los precios y rendimientos del platino, utilizaremos, los datos obtenidos de NYMEX, (New York Mercantile Exchange) que es la bolsa de valores más grande y reconocida del mundo. Ésta, como la COMEX, forma parte de la división de CME Group.

- Paladio

La demanda de este metal precioso ha experimentado un aumento significativo en las últimas décadas debido a su amplio uso en aplicaciones industriales, especialmente en la fabricación de catalizadores para vehículos de motor.

Además de la industria, los inversores ven el paladio como un activo refugio, similar al oro y plata, pero en este caso, al problema de volatilidad en los precios, se añaden los problemas de suministro y las preocupaciones sobre la sostenibilidad de la producción minera.

Los datos analizados sobre este metal se han obtenido de NYMEX, al igual que los del platino.

En resumen, los metales preciosos actúan tanto como activos refugio como opciones de inversión a futuro. Sus rendimientos están influenciados por la demanda industrial y los descubrimientos mineros de cada materia prima, y también son altamente dependientes del ciclo económico internacional.

## 2.2 Precios y rendimientos

En esta sección, vamos a describir las series de precios y de rendimientos de los metales preciosos anteriormente explicados, que vamos a analizar en este trabajo.

El periodo analizado abarca desde el 1 de enero de 2018, hasta el 28 de marzo de 2024, un periodo amplio, que nos permita estudiar el efecto de las crisis del COVID-19 y la Guerra de Ucrania en el mercado de los metales.

Para calcular los rendimientos en términos porcentuales, es decir, siguiendo el método habitual en el análisis de activos financieros (Peña, 2005), la rentabilidad diaria  $Y_t$  se define como:

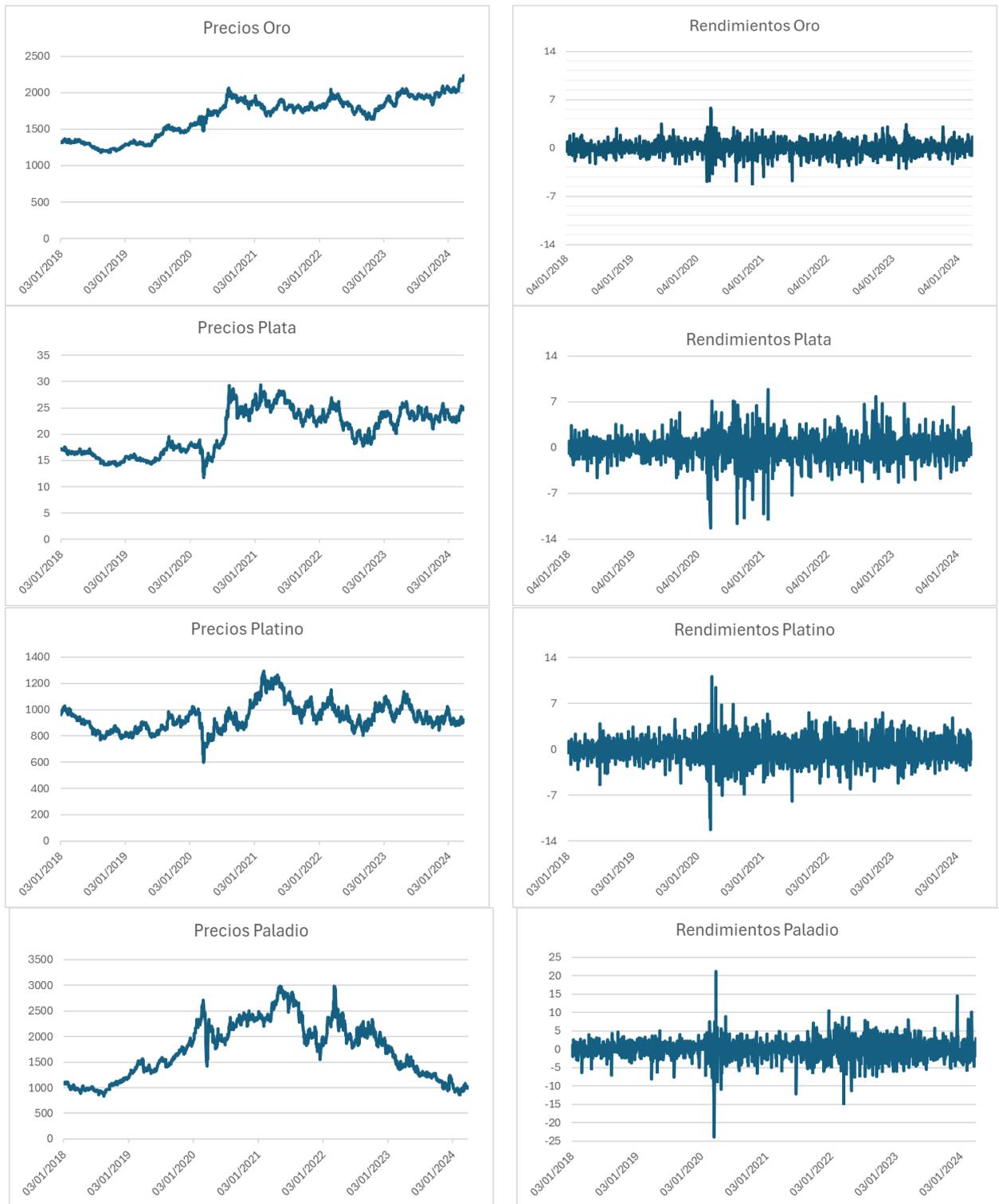
$$Y_t = 100 * \ln \left( \frac{P_t}{P_{t-1}} \right),$$

donde  $P_t$  es el precio de cierre del día  $t$  y  $P_{t-1}$  es el precio de cierre del día anterior.

Los datos analizados han sido recogidos de la página web <https://www.nasdaq.com/market-activity/commodities>, y todos los cálculos y gráficos representados en el trabajo se realizaron utilizando Statgraphics.

En el Gráfico 1 se muestran los precios y los rendimientos diarios del oro, plata, platino y paladio. Los rendimientos se representan todos en la misma escala, (-14, 14), excepto en el caso del paladio, que, debido a su volatilidad, se presenta en un rango diferente (-25, 25). Dichos rendimientos, tienen un total de 1569 observaciones.

Gráfico 1: Precios y rendimientos de los 4 metales preciosos



Se observa que los metales no muestran un comportamiento estable ni un crecimiento sostenido en sus precios, lo que evidencia su sensibilidad tanto a los ciclos económicos como a diversos factores externos, generando fluctuaciones significativas. Estas variaciones en los precios implican que, en presencia de variaciones bruscas, la volatilidad en sus rendimientos será mayor, mientras que alteraciones más moderadas conllevarán una menor volatilidad.

Al analizar el comportamiento del oro, se observa que sus precios presentan una mayor estabilidad en comparación con otros metales, mostrando una tendencia creciente a lo largo del periodo estudiado y registrando un menor número de alteraciones. Esta relativa estabilidad se refleja en los rendimientos, representados en la columna de la derecha, donde, salvo en los primeros meses de la pandemia de COVID-19, la volatilidad del oro se mantiene moderada, con un rango de fluctuación comprendido entre -7 y 7. Estos resultados refuerzan su caracterización como activo refugio.

La plata y el platino muestran un comportamiento similar en sus precios: ambos experimentan una caída significativa al inicio de la pandemia, tras la cual, sus precios no presentan una tendencia estable ni creciente como el oro. Los rendimientos revelan que la variación de los precios fue más pronunciada en la plata que en el platino, siendo los rendimientos de la plata más volátiles en este periodo. No obstante, aunque el platino generalmente presenta una volatilidad más moderada, registra un valor atípico excepcionalmente alto al comienzo de la pandemia, lo que indica que la caída y posterior recuperación en los precios del platino fue mayor que la de la plata en ese momento. Durante el periodo de la guerra en Ucrania, se observa una mayor volatilidad en ambos metales, en comparación con la pandemia, manteniéndose en líneas generales dentro de su rango de riesgo habitual.

En el caso del paladio, las fluctuaciones en sus precios son claramente pronunciadas, lo que evidencia su alta sensibilidad a factores externos. Se observa una variación significativa al inicio de la pandemia de COVID-19, siendo la más severa entre todos los metales en ese periodo. Además, es el único metal que experimenta un impacto considerable con el estallido de la guerra en Ucrania. Estas fluctuaciones se reflejan directamente en sus rendimientos, lo que ha requerido representarlos en una escala diferente, indicando que su comportamiento difiere notablemente del resto de los metales analizados. Sus rendimientos, con oscilaciones que varían generalmente entre -10 y 10, es el doble de la observada en el oro y supera en dos o tres puntos la de la plata y el platino.

### 3. REGULARIDADES EMPÍRICAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS

El objetivo de este capítulo es evaluar si los rendimientos de los metales preciosos cumplen con los llamados hechos estilizados (stylized facts), ampliamente documentados por diversos autores en los rendimientos de otros activos financieros o en distintos periodos temporales. Entre los estudios relevantes se incluyen los siguientes:

- Uddin et all (2019), quien analizó el comportamiento del mercado de metales preciosos en un periodo anterior al de este trabajo.
- Cont (2001), en su investigación sobre las acciones de BMW en la bolsa de Frankfurt y los índices bursátiles vinculados al mercado de futuros.
- Ruiz y Veiga (2008), con su estudio en el IBEX 35 y el tipo de cambio Dólar/Libra.
- Los pioneros Granger y Ding (1994), quienes examinaron diversos activos, incluyendo algunas de las commodities estudiadas en el presente trabajo, pero con datos muy anteriores a los nuestros.

Una de las características señaladas en los estudios citados sobre los rendimientos financieros es que sus distribuciones, aunque comparten ciertos rasgos con la distribución normal, como la simetría y su forma acampanada, tienden a presentar colas gruesas, es decir, existe más probabilidad de obtener valores extremos que la que existiría en una distribución normal. Esta última propiedad se conoce como exceso de curtosis y como veremos más adelante, su presencia conllevará el rechazo del supuesto de Normalidad para la distribución de los rendimientos.

#### 3.1 Análisis descriptivo

La Tabla 1 muestra diferentes medidas estadísticas para la distribución de los rendimientos de los cuatro metales preciosos analizados.

Tabla 1: Estadística descriptiva de los rendimientos

|         | Media | Mediana | Desviación<br>Típica | Mínimo | Máximo | Asimetría | Curtosis |
|---------|-------|---------|----------------------|--------|--------|-----------|----------|
| ORO     | 0,03  | 0,04    | 0,95                 | -5,11  | 5,81   | -0,21     | 4,28     |
| PLATA   | 0,02  | 0,03    | 1,90                 | -12,35 | 8,90   | -0,43     | 5,86     |
| PLATINO | 0,00  | 0,07    | 1,88                 | -12,32 | 11,16  | -0,21     | 3,63     |
| PALADIO | 0,00  | 0,11    | 2,66                 | -23,82 | 21,27  | -0,27     | 9,71     |

Las medias oscilan en torno a cero, lo que indica que los rendimientos positivos y negativos tienden a compensarse entre sí.

La mediana también es próxima a cero y, al ser mayor que la media, indica que la distribución puede ser ligeramente asimétrica hacia la derecha.

La desviación típica, utilizada habitualmente para medir la volatilidad y el riesgo, muestra que el oro es el activo con menor riesgo (0,95), mientras que el paladio presenta el mayor riesgo (2,66). Estos resultados coinciden con los observados previamente en los rendimientos del Gráfico 1.

Al examinar las diferencias entre los valores máximos y mínimos, observamos que el paladio muestra la mayor variabilidad. El platino y el paladio tienen un comportamiento similar en cuanto a la variación, mientras que el oro presenta la menor distancia entre sus rendimientos máximo y mínimo. Esto se confirma en el Gráfico 1, donde el oro se muestra muy estable, mientras que el paladio, al inicio de la Guerra de Ucrania, tiene una gran volatilidad. Estos resultados refuerzan la idea de qué metal es más volátil y cuál ofrece mayor seguridad como inversión.

Para poder analizar si los rendimientos cumplen las propiedades de una distribución normal o no, tenemos que definir asimetría y la curtosis.

El coeficiente de asimetría utilizado se define como (Peña, 2014):

$$g_1 = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^3}{n * s^3},$$

donde:

- $n$  es el número total de observaciones, en nuestro caso  $n= 1569$
- $Y_t$  es la rentabilidad diaria, en el día  $t$ .
- $\bar{Y}$  es la media aritmética de los valores  $Y_1, \dots, Y_n$
- $s$  es la desviación típica de los valores  $Y_1, \dots, Y_n$

Este coeficiente se interpreta de la siguiente forma:

- $g_1=0 \Rightarrow$  Distribución simétrica respecto a la media.
- $g_1<0 \Rightarrow$  Distribución asimétrica a la izquierda: tiene una cola más larga hacia la izquierda, los valores extremos son más frecuentes en el lado negativo. La media es menor que la mediana.
- $g_1>0 \Rightarrow$  Distribución asimétrica a la derecha: tiene una cola más larga hacia la derecha, los valores extremos son más frecuentes en el lado positivo. La media es mayor que la mediana.

Para el estudio de la curtosis, se ha utilizado el siguiente coeficiente (Peña, 2014):

$$g_2 = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^4}{n * s^4} - 3,$$

con la siguiente interpretación:

- $g_2=0 \Rightarrow$  Distribución Mesocúrtica: su distribución tiene colas y forma similar a la distribución normal.
- $g_2>0 \Rightarrow$  Exceso de Curtosis: la distribución tiene colas más gruesas que la distribución normal.
- $g_2<0 \Rightarrow$  Distribución Platicúrtica: la distribución tiene colas más delgadas que una distribución normal.

Tras la explicación presentada, en la Tabla 1 se puede observar que todos los metales analizados exhiben una distribución asimétrica a la izquierda, dado que presentan valores negativos y un exceso de curtosis. Entre ellos, el paladio es el que presenta el mayor grado de exceso de curtosis, en consonancia con las características descriptivas en el Gráfico 1.

A continuación, vamos a complementar los estudios de la estadística descriptiva comentada, con los presentados en el Gráfico 2, que incluye:

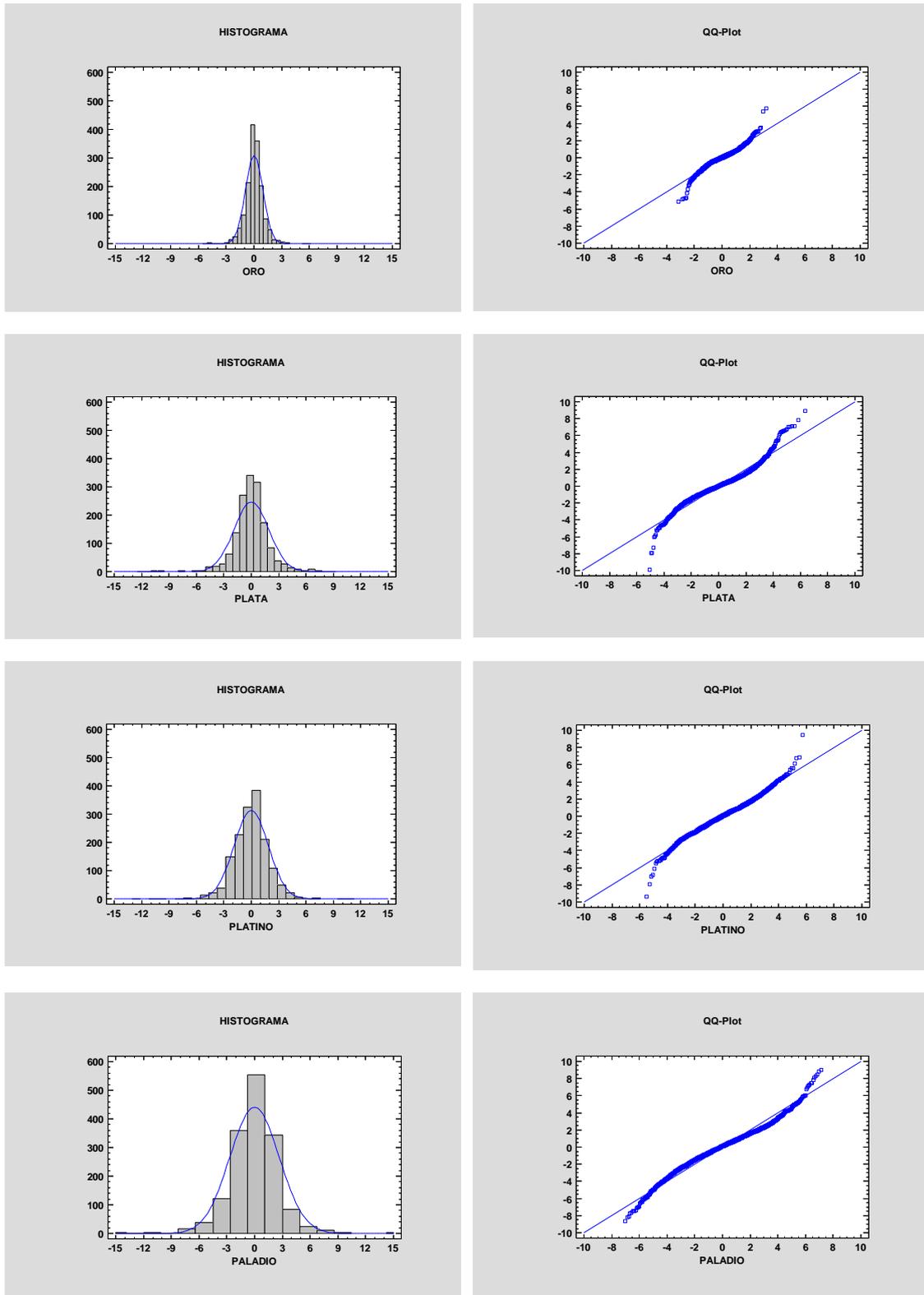
- Los histogramas de los rendimientos de cada metal precioso en la columna de la izquierda
- Los gráficos Quantile-Quantile (QQ plots) en la columna de la derecha.

El QQ plot compara los cuantiles teóricos bajo el supuesto de normalidad, frente a los cuantiles muestrales de las series. Si los datos se distribuyen de acuerdo con una distribución normal, ambos cuantiles serían iguales y los puntos representados deberían ajustarse a la línea diagonal del gráfico, que representa la diagonal del cuadrado. Sin embargo, como se puede observar en el Gráfico 2, este no es el caso.

Los datos muestran desviaciones significativas en los extremos, lo que indica que las colas de las distribuciones de los rendimientos son más anchas de lo que se esperaría bajo el supuesto de normalidad. Esto implica una mayor probabilidad de observar valores extremos, resultantes de grandes caídas o aumentos en los precios, en comparación con lo que se esperaría si la distribución fuera normal. Este fenómeno es precisamente lo que caracteriza la curtosis. En este contexto, el oro presenta un ajuste a la distribución normal, mientras que la plata, el platino y el paladio muestran claramente desviaciones significativas que indican una falta de normalidad.

En cuanto a los histogramas, todos los metales están centrados en torno a cero y exhiben una ligera asimetría hacia la izquierda, como vimos en la Tabla 1. La distribución de los rendimientos presenta una forma acampanada, pero más picuda que la distribución normal en el caso del oro y el paladio. El platino, por su parte, es el metal que más se asemeja a una distribución normal, mostrando colas con menos observaciones en comparación con la plata y el paladio.

Gráfico 2: Histogramas junto a la función de densidad normal y Q-Qplots



### 3.2 Contraste de Normalidad

La sección anterior, ya sugiere que las rentabilidades analizadas no siguen una distribución normal. Para afianzar esta conclusión, realizaremos contrastes de hipótesis para determinar si efectivamente cumplen con la normalidad.

Las pruebas de normalidad que analizaremos son: el contraste de normalidad de Jarque-Bera y el contraste de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors. Ambas pruebas seguirán un planteamiento similar en cuanto al contraste de hipótesis, formulado de la siguiente manera:

$$\begin{cases} H_0: & \text{Normalidad} \\ H_1: & \text{No normalidad} \end{cases}$$

- Jarque-Bera

Esta es una prueba de bondad de ajuste, que se basa en los coeficientes de asimetría y curtosis anteriormente explicados.

El estadístico de contraste de Jarque-Bera con el que evaluaremos si se rechaza o no la hipótesis de normalidad, es el siguiente:

$$d_{JB} = \frac{n}{6} \left( g_1^2 + \frac{1}{4} g_2^2 \right) \rightarrow \chi_2^2.$$

Este estadístico, al basarse en la asimetría ( $g_1$ ) y la curtosis ( $g_2$ ), tomará un valor pequeño si los datos siguen una distribución normal. Esto se debe a que, en una distribución normal, tanto la asimetría como la curtosis se aproximan a los valores teóricos de 0, lo que minimiza el valor del estadístico.

El estadístico  $d_{JB}$  se compara con un valor crítico de la distribución  $\chi^2$  con 2 grados de libertad, el cual depende del nivel de significación  $\alpha$ . Se rechazará la hipótesis nula a un nivel  $\alpha$ , si el valor de  $d_{JB}$  es mayor que el percentil  $(1 - \alpha)$ .

En nuestro caso, como se observa en la Tabla 1, hay asimetría negativa y exceso de curtosis, lo que indica que el estadístico de la prueba tomará valores altos. Por lo tanto, esperamos rechazar la hipótesis nula, lo que implicaría que los datos no siguen una distribución normal, como veremos más adelante.

- Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors

La prueba Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors, se basa en calcular la máxima diferencia absoluta entre la distribución empírica y la función de distribución acumulativa teórica bajo el supuesto de normalidad, sustituyendo los parámetros de la distribución normal por sus estimaciones. Este valor máximo de denomina:

$$D_{KS} = \max |F_n(y) - F(y)|,$$

donde:

- $F_n(y)$  es la función de distribución empírica, función escalonada que aumenta en  $\frac{1}{n}$  en cada punto de los datos ordenados. Para un valor  $y$  específico se define como:

$$F_n(y) = \frac{\text{Número de observaciones} \leq y}{n}$$

- $F(y)$  es la función de distribución acumulativa teórica de la distribución normal, que se calcula estimando los parámetros media y desviación estándar de la muestra:

$$F(y) = \Phi\left(\frac{y - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}\right),$$

donde  $\Phi$  es la función de distribución teórica de la normal estándar.

La región crítica del contraste es:

$$C = \{D_{KS} \geq d(\alpha)\}$$

Si esta distancia máxima,  $D_{KS}$  es mayor que  $d(\alpha)$ , valor crítico obtenido de las tablas de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors, se rechazará la hipótesis nula a nivel  $\alpha$ , lo que indica que, la muestra no proviene de la distribución normal.

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los resultados de las pruebas de normalidad descritas anteriormente, aplicadas a las rentabilidades de los cuatro metales preciosos. En esta tabla se mostrarán tanto el valor del estadístico como el p-valor correspondiente.

Tabla 2: Estadísticos y p-valores, para los contrastes de normalidad de los rendimientos

| Tests de Normalidad           | ORO              | PLATA            | PLATINO         | PALADIO            |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Jarque-Bera                   | 118,96<br>(0,00) | 583,40<br>(0,00) | 37,46<br>(0,00) | 2.959,06<br>(0,00) |
| Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors | 0,08<br>(0,00)   | 0,07<br>(0,00)   | 0,04<br>(0,01)  | 0,06<br>(0,00)     |

Observamos que, para un  $\alpha = 5\%$  se rechaza la hipótesis de normalidad en todos los casos y en ambas pruebas. Esto se debe a que ninguno de los p-valores obtenidos supera el umbral de 0,05. Sin embargo, al aplicar un nivel de significación más estricto de  $\alpha=1\%$ , se acepta la hipótesis nula de normalidad en el caso del platino en la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors.

Podemos concluir este capítulo comentando que el mercado de los metales preciosos tanto en la estadística descriptiva como en los contrastes de normalidad, cumple los hechos estilizados comentados al inicio de la presentación.

## 4. PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS RENDIMIENTOS

En esta sección, estudiamos las propiedades dinámicas de los rendimientos de los metales preciosos. Concretamente, nos centraremos en tres aspectos clave:

- Autocorrelación de los rendimientos: Analizaremos como se relacionan los rendimientos con sus valores pasados y qué información nos proporcionan, sobre la dinámica del mercado.
- Efecto Taylor: Fenómeno descrito por el economista Taylor (1986) que hace referencia a la autocorrelación observada en los rendimientos absolutos y los rendimientos al cuadrado. Taylor observó que, en general, las autocorrelaciones de los valores absolutos de los rendimientos son más elevadas que las de los rendimientos al cuadrado, lo que tiene implicaciones en la modelización de la volatilidad.
- Efecto de apalancamiento (leverage effect): Este efecto describe cómo cambia la volatilidad de un activo en función de su nivel de deuda. Cuando el precio del activo baja, el apalancamiento financiero sube, lo que aumenta su volatilidad futura. Este fenómeno es importante para entender cómo los riesgos financieros influyen en los precios de los metales preciosos.

El análisis de estas propiedades se fundamenta en los trabajos previos de Taylor (1986), Granger y Ding (1994), Cont (2001), Ruiz y Veiga (2008) y Sherkan y Sen (2023), entre otros. Ellos encuentran una serie de características comunes en todos sus estudios realizados:

- Las autocorrelaciones de los rendimientos ( $y_t$ ) no son significativas.
- Las autocorrelaciones de los valores absolutos de los rendimientos ( $|y_t|$ ) y de los rendimientos al cuadrado ( $y_t^2$ ) son significativas, y se caracterizan por ser positivas y de pequeña magnitud, y por ser las primeras mayores que las segundas.
- Se observan correlaciones cruzadas negativas entre los rendimientos y la volatilidad futura, lo que sugiere una relación inversa entre ambos factores.

### 4.1 Autocorrelación en los rendimientos

Este concepto permite determinar si los rendimientos de periodos pasados influyen en los rendimientos actuales. Si se detecta autocorrelación en los rendimientos, podríamos desarrollar un modelo lineal predictivo que nos permita obtener beneficios de los activos estudiados, ya que podríamos anticipar sus comportamientos futuros, y, por lo tanto, hacerlos más rentables.

Para verificar si existe correlación en los rendimientos, utilizaremos la función de autocorrelación de Pearson:

$$\rho(h) = \frac{\text{cov}(Y_t, Y_{t-h})}{\text{var}(Y_t)}, \text{ para } h= 1, 2, \dots,$$

donde  $Y_t$  es el rendimiento en  $t$  e  $\bar{Y}$  la media muestral. El coeficiente de autocorrelación muestral de orden  $h$ , que estima el valor teórico  $\rho(h)$ , se calcula como:

$$\hat{\rho}(h) = \frac{\hat{\gamma}(h)}{\hat{\gamma}(0)} = \frac{\sum_{t=h+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-h} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}, \quad (1)$$

donde  $\hat{\gamma}(h)$  es la estimación de la covarianza de orden  $h$  y  $\hat{\gamma}(0)$  es la estimación de la varianza. Las hipótesis a contrastar son las siguientes:

$$\begin{cases} H_0, & \text{No autocorrelación} \\ H_1, & \text{Autocorrelación} \end{cases}$$

La función de autocorrelación se utiliza para medir la dependencia de una serie temporal consigo misma en diferentes momentos. Para evaluar si estas autocorrelaciones son significativas o producto del azar, se representan junto a las bandas de confianza de Bartlett al 95%, calculadas como  $\pm 1.96/\sqrt{n}$ . En una serie de ruido blanco, el 95% de los valores de autocorrelación deberían estar dentro de estas bandas, y cualquier valor fuera de ellas se considera estadísticamente significativo (Peña, 2001).

Sin embargo, en la práctica se suelen graficar las autocorrelaciones con "bandas de errores estándar", que asumen que todas las autocorrelaciones son cero en conjunto. Esta técnica, aunque útil, no permite evaluar la significatividad de cada autocorrelación individualmente, lo que puede limitar su precisión (Diebold, 1999).

No obstante, para confirmar si realmente hay autocorrelación conjunta, profundizaremos en el análisis con el siguiente contraste:

- Box-Ljung

Esta prueba se utiliza principalmente para evaluar la hipótesis de incorrelación lineal conjunta, en una muestra de datos específica. El estadístico de contraste  $Q$  de Box-Ljung, nos permite determinar si las primeras  $m$  autocorrelaciones de la serie son conjuntamente iguales a 0, lo que indicaría la ausencia de dependencia lineal entre los datos.

La fórmula general para calcular  $Q(m)$  es:

$$Q(m) = n(n+2) \sum_{h=1}^m \left( \frac{[\hat{\rho}(h)]^2}{n-h} \right) \rightarrow \chi_m^2$$

donde:

- $\hat{\rho}(h)$  es la función de autocorrelación muestral de orden  $h$  definida en (1).
- $n$  es el tamaño de la muestra.
- $m$  es el número de retardos a considerar.

Este estadístico, sigue aproximadamente una distribución chi-cuadrado con  $m$  grados de libertad bajo la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación. Por lo tanto, si  $Q(m) > \chi_m^2(1 - \alpha)$ , rechazamos la hipótesis nula al nivel de significación  $\alpha$ , siendo  $\chi_m^2(1 - \alpha)$  el percentil  $(1 - \alpha)$  de la distribución  $\chi^2$ .

A continuación, procedemos a calcular la prueba de Box Ljung, tanto para  $Y_t$ , rendimientos simples, como  $Y_t^2$ , cuadrados e  $|Y_t|$ , absolutos. Realizaremos estos análisis para los retardos de 10, 25 y 50. Estos estudios nos permitirán identificar si existe autocorrelación

en las diferentes formas de los rendimientos y evaluar su comportamiento dinámico a lo largo del tiempo.

Tabla 3: Resultados del contraste de Box-Ljung para  $Y_t$ ,  $|Y_t|$  e  $Y_t^2$

|                            |      | ORO              | PLATA            | PLATINO          | PALADIO          |
|----------------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Box-Ljung Test $Y_t$       | m=10 | 21,34<br>(0,02)  | 23,33<br>(0,01)  | 36,84<br>(0,00)  | 40,33<br>(0,00)  |
|                            | m=25 | 42,33<br>(0,02)  | 51,75<br>(0,00)  | 76,41<br>(0,00)  | 76,72<br>(0,00)  |
|                            | m=50 | 74,03<br>(0,02)  | 111,11<br>(0,00) | 123,72<br>(0,00) | 106,35<br>(0,00) |
| Box-Ljung Test ( $Y_t^2$ ) | m=10 | 284,25<br>(0,00) | 235,28<br>(0,00) | 339,28<br>(0,00) | 405,80<br>(0,00) |
|                            | m=25 | 425,18<br>(0,00) | 414,38<br>(0,00) | 471,20<br>(0,00) | 448,12<br>(0,00) |
|                            | m=50 | 442,79<br>(0,00) | 503,82<br>(0,00) | 615,20<br>(0,00) | 489,05<br>(0,00) |
| Box-Ljung Test ( $ Y_t $ ) | m=10 | 179,68<br>(0,00) | 273,13<br>(0,00) | 150,76<br>(0,00) | 254,01<br>(0,00) |
|                            | m=25 | 316,79<br>(0,00) | 556,25<br>(0,00) | 326,69<br>(0,00) | 406,60<br>(0,00) |
|                            | m=50 | 358,80<br>(0,00) | 738,87<br>(0,00) | 602,40<br>(0,00) | 586,21<br>(0,00) |

Como se observa en la Tabla 3, para un nivel de significación  $\alpha=0.05$ , todas las hipótesis nulas se rechazan. Sin embargo, al cambiar a un nivel de significación más estricto,  $\alpha=0.01$ , observamos que el oro en los rendimientos simples acepta la hipótesis nula, y nos indica que no existe autocorrelación en sus rendimientos.

Esto se puede corroborar en la columna de la izquierda del Gráfico3, podemos ver una correlación en los rendimientos muy baja y se encuentran dentro de los límites de significancia. Esto indica, que los rendimientos simples, son prácticamente independientes en el tiempo. La baja autocorrelación, sugiere que es difícil predecir los rendimientos futuros basándose en los pasados.

Dado que se detecta correlación significativa en los rendimientos cuadrados y absolutos, sería recomendable ajustar las bandas de confianza de Bartlett para  $Y_t$  aplicando la corrección de Diebold mencionada previamente. Esto ampliaría las bandas de confianza y, posiblemente, evitaría el rechazo de la hipótesis de incorrelación.

En la próxima sección, explicaremos por qué es importante estudiar los rendimientos cuadrados y absolutos, así como la relación que va a tener su estudio en el análisis financiero de los metales preciosos.

## 4.2 Autocorrelación en los rendimientos cuadráticos y absolutos. Efecto Taylor

Los rendimientos al cuadrado y absolutos son muy útiles para captar la dinámica de la volatilidad en nuestro estudio de los metales preciosos. Ambos suelen revelar patrones de dependencia más pronunciados que los rendimientos ordinarios.

En particular, investigaciones previas como las de Granger y Ding (1994) y Taylor (1986; 2005), han mostrado que la autocorrelación de los rendimientos absolutos tiende a ser mayor que la de los rendimientos al cuadrado. Esto puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{Corr} (|Y_t|, |Y_{t-k}|) > \text{Corr} (Y_t^2, Y_{t-k}^2)$$

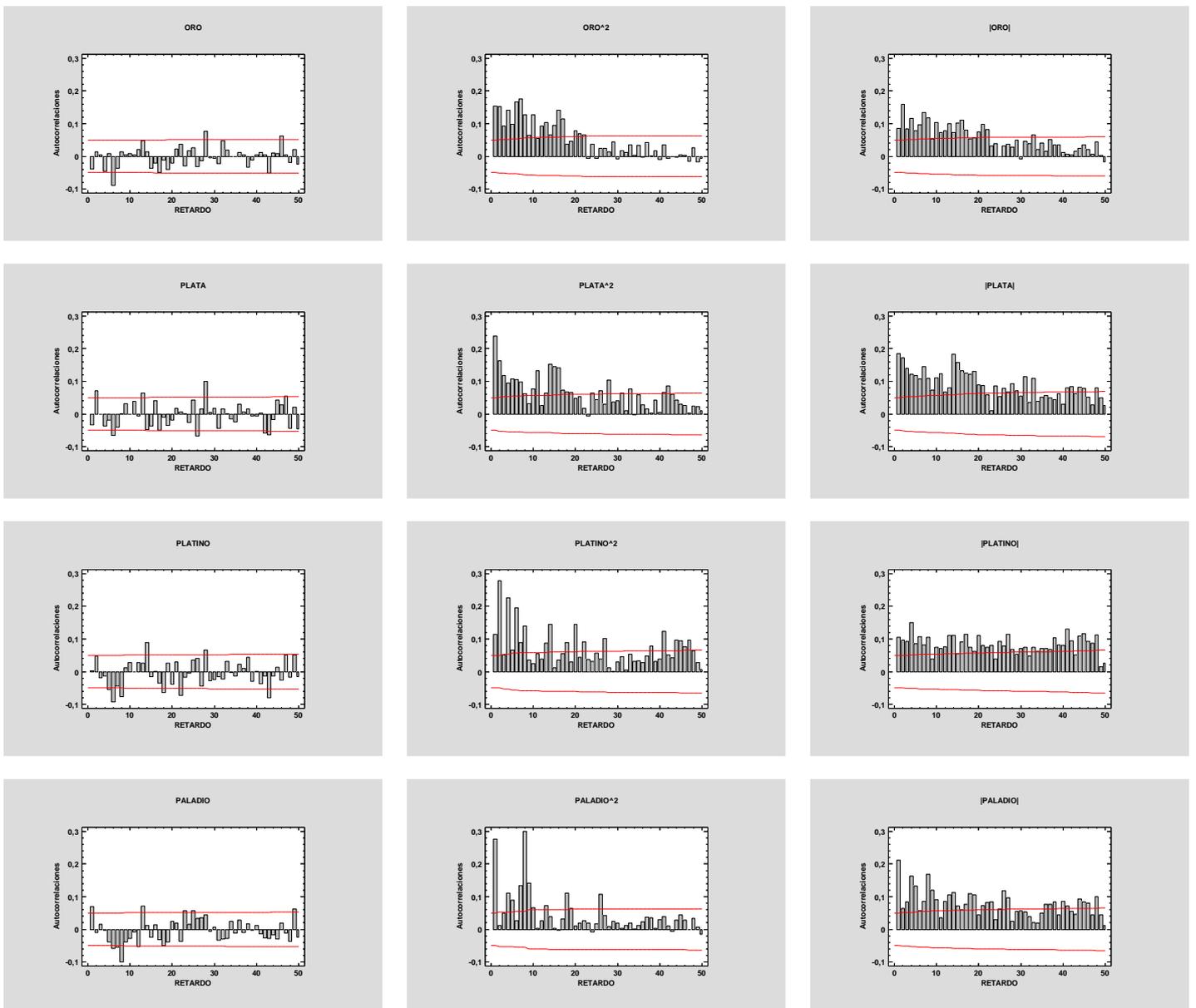
A esta propiedad se le denomina “Efecto Taylor”.

Vamos a analizar gráficamente los resultados anteriormente comentados. Para ello el Gráfico 3 representa las funciones de autocorrelación para los rendimientos simples, cuadrados y absolutos, para 50 retardos.

En el caso de los rendimientos al cuadrado, la autocorrelación es mucho más pronunciada en comparación con los simples. Observamos autocorrelaciones positivas y significativas en los primeros retardos, lo que indica que las fluctuaciones en la volatilidad presentan correlación a lo largo del tiempo.

Por último, la autocorrelación en los rendimientos absolutos es aún más elevada y persistente en comparación con los rendimientos al cuadrado, confirmando el Efecto Taylor.

Gráfico 3: Función de autocorrelación para rendimientos, cuadrados y valores absolutos.



## 4.2. Leverage effect

El leverage effect o efecto apalancamiento consiste en que la volatilidad, en las series de rentabilidades financieras, se comporta de forma diferente en respuesta a valores previos de rentabilidades positivas que a valores de rentabilidades negativas.

Dado que la dispersión está relacionada con de las rentabilidades cuadradas y absolutas, la volatilidad se ve afectada por las variaciones de estos. La volatilidad aumenta más cuando las rentabilidades previas son negativas que cuando son positivas: una rentabilidad negativa genera mayor incertidumbre que una rentabilidad positiva y por ello genera un periodo de mayor volatilidad.

Esto lo comenta Ruiz y Veiga (2008), quienes proponen utilizar las correlaciones cruzadas muestrales entre rendimientos pasados  $Y_{t-h}$  y rendimientos cuadrados y

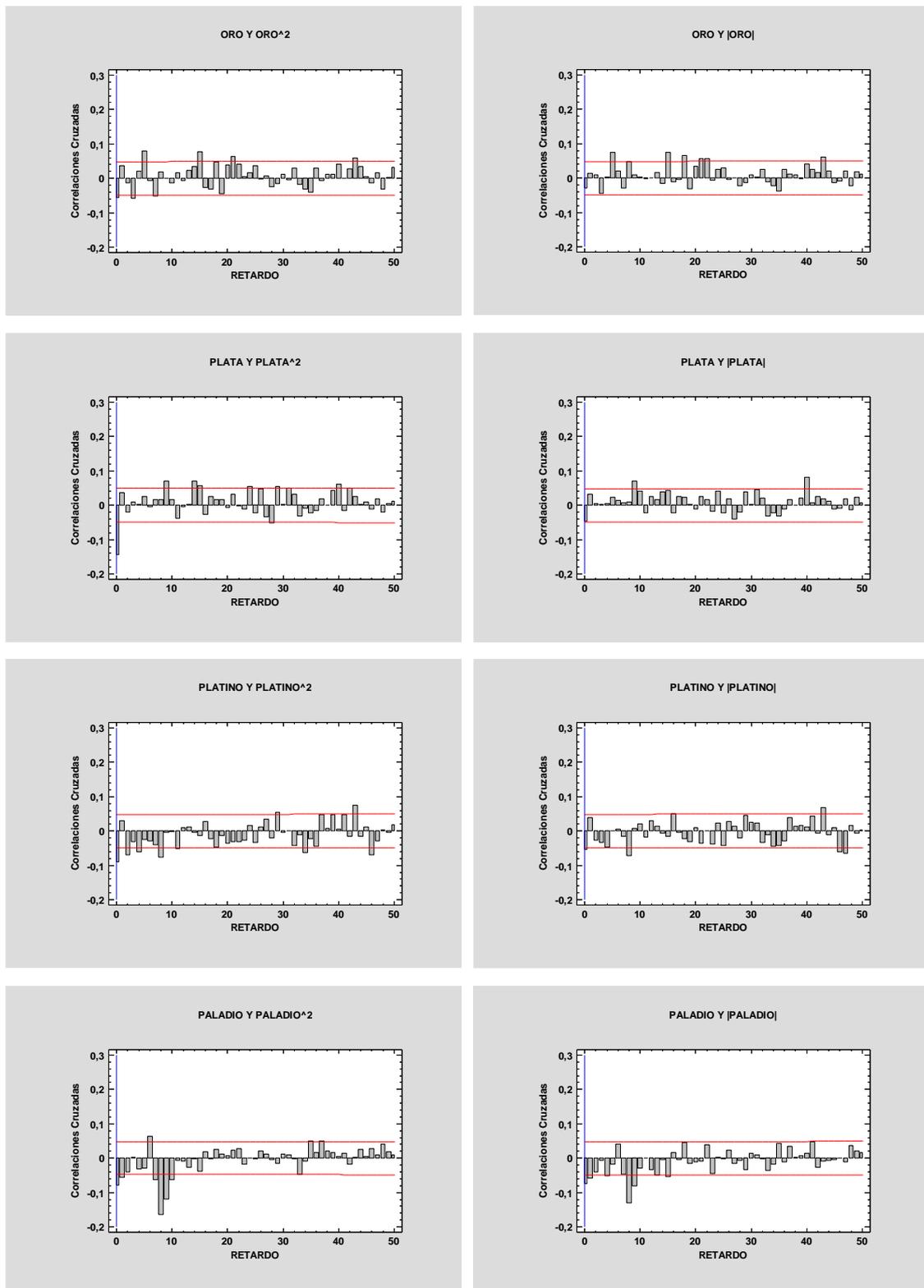
absolutos futuros para medir el leverage effect. Si el aumento de la volatilidad es mayor en respuesta a rendimientos pasados negativos que positivos de la misma magnitud, entonces las correlaciones cruzadas entre  $Y_{t-h}$  e  $Y_t^2$  son negativas. Por lo tanto, los valores negativos de estas correlaciones cruzadas indican un posible efecto Leverage.

A continuación, en el Gráfico 4, se presentan las correlaciones cruzadas entre los rendimientos simples de los metales preciosos y sus transformaciones: los rendimientos al cuadrado y los rendimientos absolutos. El propósito de este análisis es identificar las correlaciones negativas que puedan sugerir la existencia del efecto apalancamiento o una relación entre los rendimientos y su volatilidad.

En el caso del oro, plata y platino, la mayoría de las correlaciones están dentro de los límites de significación, lo que indica que no hay una fuerte dependencia temporal entre los rendimientos pasados y la volatilidad futura. Sin embargo, en el mercado del paladio, se observan algunas correlaciones más marcadas en ciertos retardos, lo que podría indicar un efecto apalancamiento en este mercado.

En general, estos resultados sugieren que, en el contexto de los metales preciosos, las caídas de los precios no están asociadas con un incremento significativo en la volatilidad futura, diferenciándose de otros mercados financieros donde el efecto apalancamiento es más pronunciado.

Gráfico 4: Correlaciones cruzadas de rendimientos, cuadrados y valor absoluto



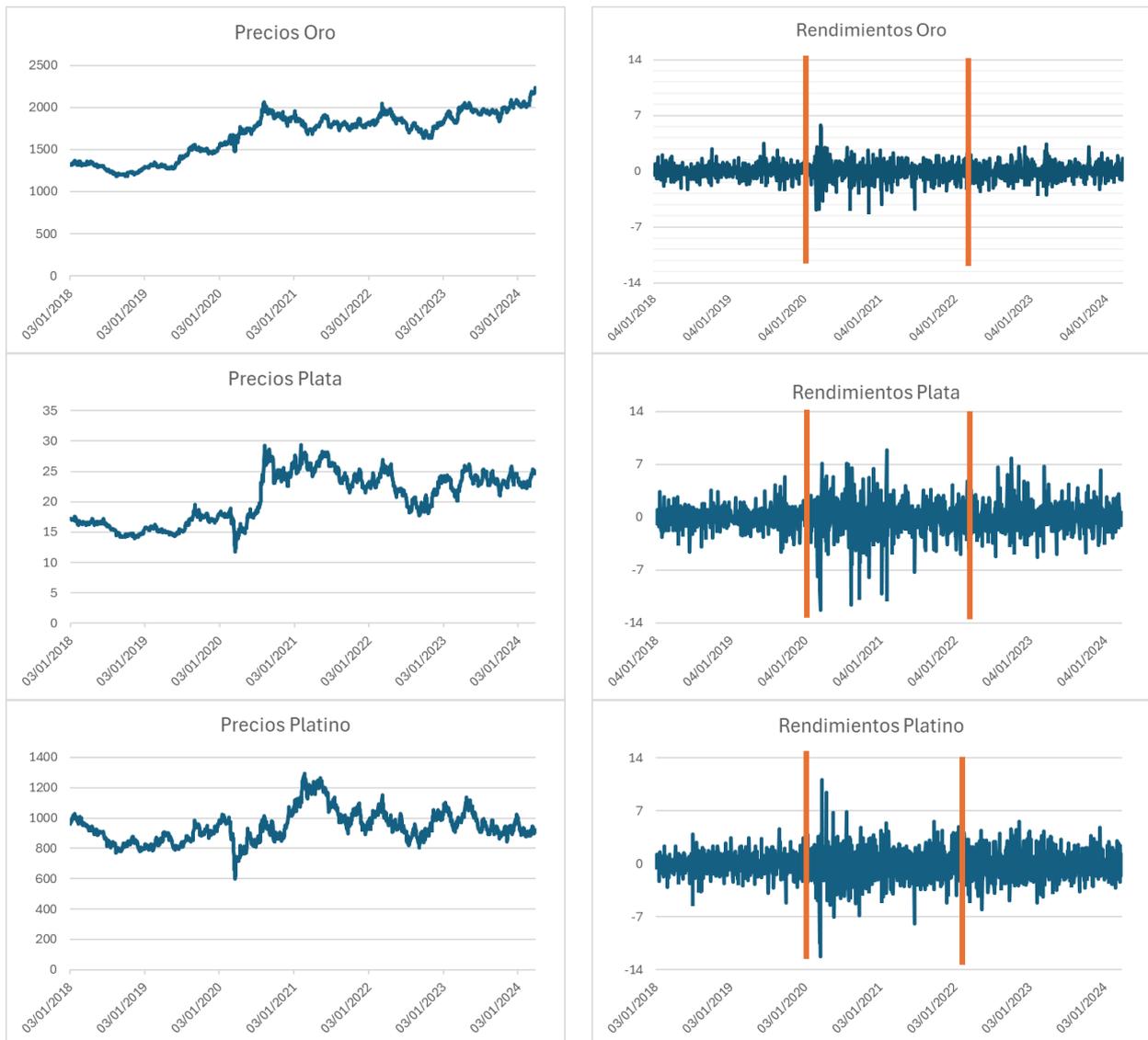
## 5. SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS AL CICLO ECONÓMICO

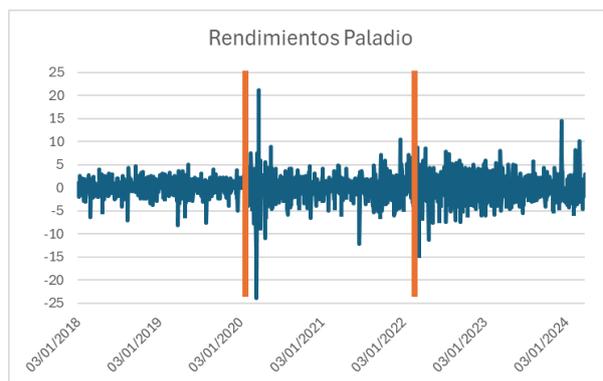
Tras el análisis general realizado en los apartados anteriores, este capítulo se centrará en examinar las distintas etapas dentro del período general, con el objetivo de identificar si las perturbaciones presentes en cada uno de estos períodos han generado un impacto significativo. Los períodos que se analizarán son los siguientes:

- Período A: 3 de enero de 2018 hasta 17 de enero de 2020, pre-pandemia.
- Período B: 21 de enero de 2020 hasta el 23 de febrero de 2022, post COVID-19.
- Período C: 24 de febrero de 2022 hasta el 28 de marzo de 2024, Guerra de Ucrania-Rusia.

A continuación, se presentan los diferentes subperíodos claramente delimitados. En cada uno de ellos, se analizará si se cumplen los distintos hechos estilizados discutidos en los apartados anteriores.

Gráfico 5: Precios y rendimientos de los 4 metales preciosos





### 5.1. Propiedades en el periodo pre-Covid

En las siguientes tablas se presentan las medidas estadísticas utilizadas para describir los rendimientos financieros y los test de normalidad, con el fin de analizarlos en relación con el período general.

Tabla 4: Estadísticos descriptivos de los rendimientos  
(3/01/2018 – 17/01/2020)

|         | Media | Mediana | Desviación Típica | Mínimo | Máximo | Asimetría | Curtosis |
|---------|-------|---------|-------------------|--------|--------|-----------|----------|
| ORO     | 0,03  | 0,04    | 0,73              | -2,30  | 3,50   | 0,19      | 1,95     |
| PLATA   | 0,01  | 0,01    | 1,22              | -4,64  | 5,34   | -0,12     | 2,16     |
| PLATINO | 0,01  | 0,09    | 1,27              | -5,30  | 4,58   | -0,18     | 1,39     |
| PALADIO | 0,14  | 0,25    | 1,74              | -8,19  | 5,14   | -0,81     | 2,45     |

Tabla 5: Estadísticos y p-valores para los contrastes de normalidad de los rendimientos  
(3/01/2018 – 17/01/2020)

| Tests de Normalidad           | ORO             | PLATA            | PLATINO         | PALADIO          |
|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| Jarque-Bera                   | 84,04<br>(0,00) | 100,74<br>(0,00) | 44,33<br>(0,00) | 184,02<br>(0,00) |
| Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors | 0,06<br>(0,03)  | 0,05<br>(0,11)   | 0,04<br>(0,54)  | 0,05<br>(0,19)   |

Se observa que todos los valores están más próximos a cumplir con los requisitos de normalidad. Tanto la media como la mediana presentan unos valores cercanos a cero. La desviación típica es comparable a la del período general, aunque menor en todos los casos.

La diferencia entre los valores mínimo y máximo es considerablemente menor en comparación con el período general, y no se identifican grandes valores atípicos en este período. En cuanto a la asimetría, los resultados son muy similares a los de la serie general, mientras que la curtosis muestra valores más cercanos a una distribución mesocúrtica. No obstante, persiste un exceso de curtosis, dado que los valores siguen siendo positivos.

En la Tabla 5, se observa que el estadístico de Jarque-Bera es notablemente menor en comparación con el del período general, lo cual podría explicarse por los valores de asimetría y curtosis previamente mencionados. Sin embargo, esta prueba de normalidad rechaza la hipótesis nula de normalidad para todo nivel de significancia  $\alpha$ .

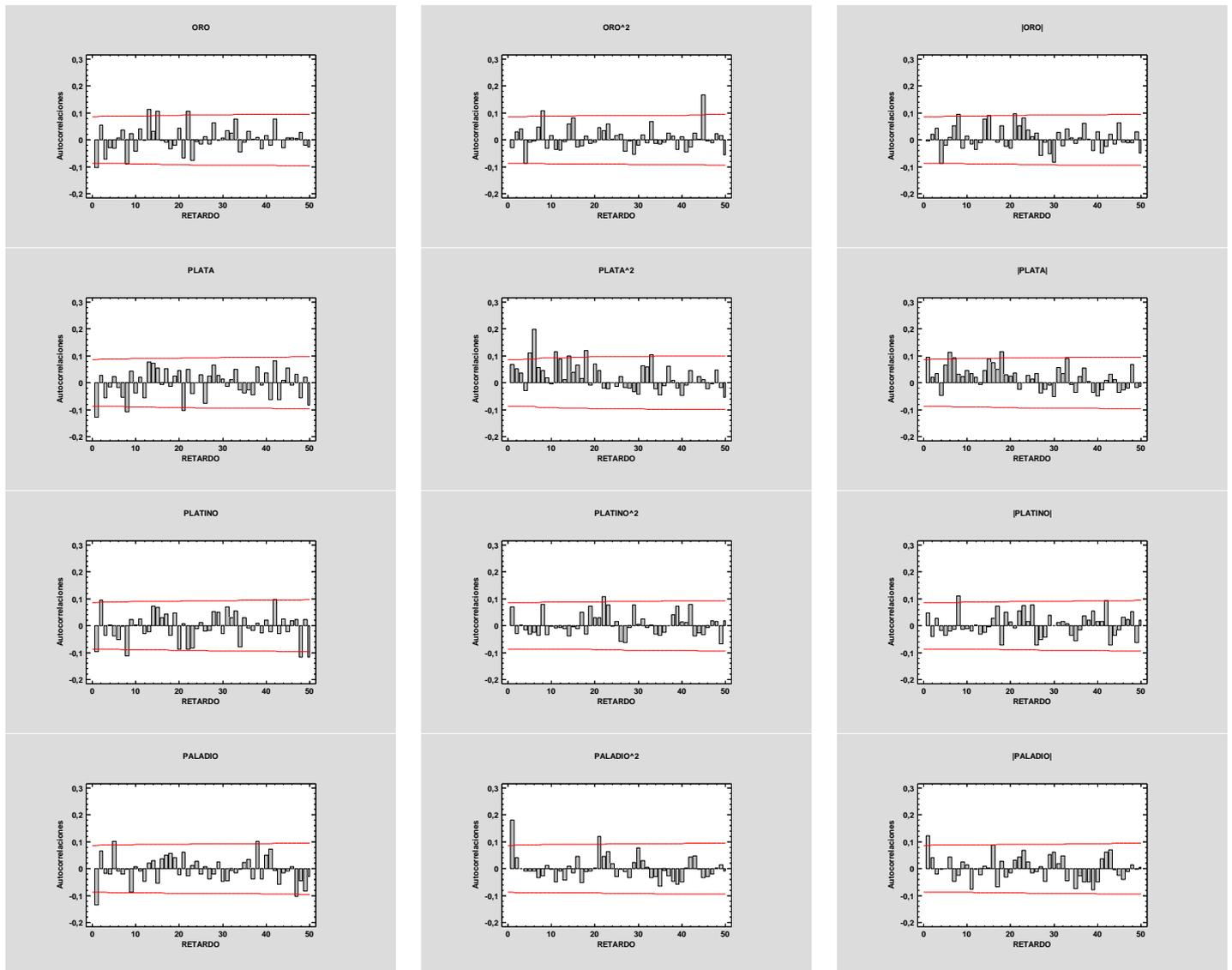
Por otro lado, en la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha=1\%$ , se acepta la hipótesis nula, lo que nos permite asumir normalidad en los metales preciosos durante este periodo.

Tras este análisis de la normalidad, procederemos a estudiar la autocorrelación de los rendimientos, sus cuadrados y valores absolutos, lo que nos permitirá profundizar en las diferencias en su comportamiento. Para ello, en la Tabla 6 analizaremos los resultados del contraste de Box-Ljung y el Gráfico 6 la autocorrelación del periodo gráficamente.

Tabla 6: Resultados del contraste de Box-Ljung para  $Y_t$ ,  $Y_t^2$  e  $|Y_t|$   
(3/01/2018 – 17/01/2020)

|                               |      | ORO             | PLATA           | PLATINO         | PALADIO         |
|-------------------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Box-Ljung Test $Y_t$          | m=10 | 16,52<br>(0,09) | 20,35<br>(0,03) | 18,90<br>(0,04) | 21,67<br>(0,02) |
|                               | m=25 | 44,19<br>(0,19) | 41,28<br>(0,02) | 40,66<br>(0,02) | 40,66<br>(0,02) |
|                               | m=50 | 58,54<br>(0,19) | 70,96<br>(0,03) | 76,66<br>(0,01) | 76,66<br>(0,01) |
| Box-Ljung Test ( $Y_t^2$ )    | m=10 | 13,77<br>(0,18) | 35,01<br>(0,00) | 8,31<br>(0,60)  | 18,78<br>(0,04) |
|                               | m=25 | 25,19<br>(0,45) | 66,82<br>(0,00) | 24,68<br>(0,48) | 35,53<br>(0,08) |
|                               | m=50 | 52,35<br>(0,38) | 62,09<br>(0,00) | 46,18<br>(0,63) | 52,42<br>(0,38) |
| Box-Ljung Test<br>( $ Y_t $ ) | m=10 | 12,27<br>(0,27) | 21,97<br>(0,02) | 10,05<br>(0,44) | 11,66<br>(0,31) |
|                               | m=25 | 33,91<br>(0,11) | 41,83<br>(0,02) | 26,25<br>(0,39) | 27,24<br>(0,34) |
|                               | m=50 | 52,90<br>(0,36) | 62,09<br>(0,12) | 51,28<br>(0,42) | 52,48<br>(0,38) |

Gráfico 6: Función de autocorrelación para rendimientos, cuadrados y valores absolutos, (3/01/2018 – 17/01/2020)



En la tabla podemos ver algunas diferencias respecto al apartado del periodo conjunto, Tabla 3.

Exceptuando la plata en sus rendimientos cuadrados, todos aceptan la hipótesis nula, por lo que no hay autocorrelación significativa en sus rendimientos simples ni en sus cuadrados y absolutos.

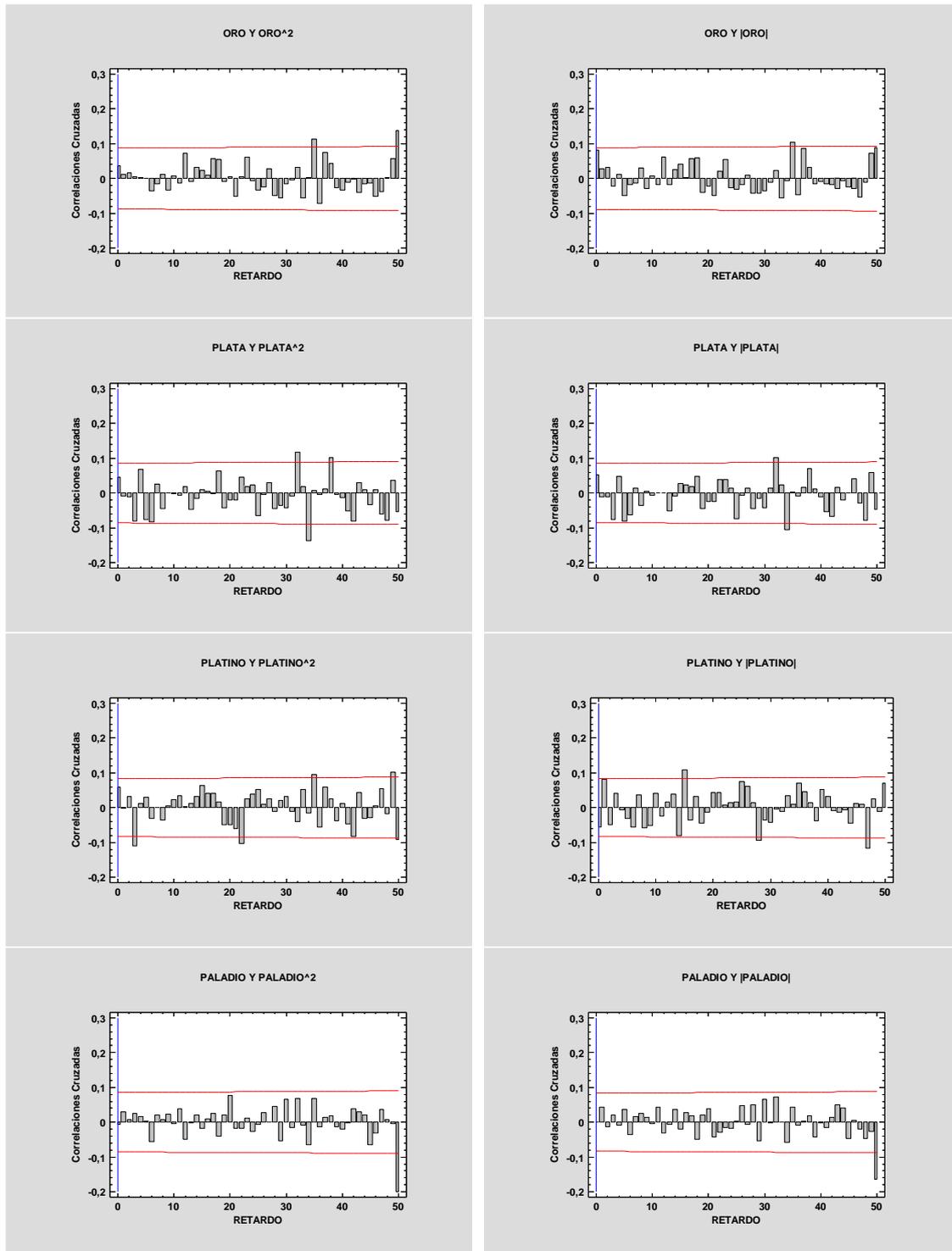
En cuanto al Gráfico 6, si nos fijamos en la columna de la izquierda, rendimientos simples, no hay autocorrelación significativa, además, si continuamos hacia la derecha, en las columnas de los rendimientos cuadrados y absolutos, tampoco existe autocorrelación, lo que nos sugiere que no hay persistencia en la volatilidad en el mercado en este subperiodo.

A continuación, en el Gráfico 7, analizaremos si existe efecto apalancamiento en este periodo analizando las correlaciones cruzadas de los rendimientos simples con sus cuadrados y absolutos.

En general, los resultados muestran que en estos mercados no se observa una fuerte correlación negativa entre los rendimientos y la volatilidad, lo que sugiere una ausencia clara del efecto apalancamiento.

Tanto el oro, la plata, platino como el paladio, presentan correlaciones cruzadas que, en su mayoría, no alcanzan niveles de significación, lo que indica que no hay una relación clara entre los rendimientos pasados y su volatilidad futura.

Gráfico 7: Correlaciones cruzadas de rendimientos, cuadrados y valor absoluto, (3/01/2018 – 17/01/2020)



## 5.2. Propiedades en el periodo post-Covid

Al igual que en los apartados anteriores, comenzamos el análisis de este período con un estudio de la estadística descriptiva y las pruebas de normalidad.

A diferencia del subperíodo anterior, en este período se observan diferencias significativas. Tanto la media como la mediana muestran valores positivos, superiores a los del período general y al período A. La desviación típica también es mayor en consonancia con el aumento de la volatilidad durante este período.

La diferencia entre el valor mínimo y máximo es la mayor entre los tres períodos, lo que pone de manifiesto la variabilidad de los rendimientos, confirmando la volatilidad del período como resultado de la fuerte variación en los precios generada por la pandemia.

Tabla 7: Estadísticos descriptivos de los rendimientos (21-01-2020 – 23/02/2022)

|         | Media | Mediana | Desviación típica | Mínimo | Máximo | Asimetría | Curtosis |
|---------|-------|---------|-------------------|--------|--------|-----------|----------|
| ORO     | 0,04  | 0,09    | 1,17              | -5,11  | 5,81   | -0,46     | 4,35     |
| PLATA   | 0,06  | 0,15    | 2,49              | -12,35 | 8,90   | -0,77     | 4,51     |
| PLATINO | 0,01  | 0,15    | 2,35              | -12,32 | 11,16  | -0,33     | 3,53     |
| PALADIO | 0,01  | 0,12    | 3,05              | -23,82 | 21,27  | -0,43     | 13,55    |

Tabla 8: Estadísticos y p-valores para los contrastes de normalidad de los rendimientos (21-01-2020 – 23/02/2022)

| Tests de Normalidad           | ORO              | PLATA            | PLATINO          | PALADIO            |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Jarque-Bera                   | 433,86<br>(0,00) | 498,65<br>(0,00) | 283,50<br>(0,00) | 4.053,24<br>(0,00) |
| Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors | 0,10<br>(0,00)   | 0,10<br>(0,00)   | 0,05<br>(0,10)   | 0,10<br>(0,00)     |

La asimetría negativa, junto con el exceso de curtosis, sugiere que los resultados del estadístico de Jarque-Bera presentan valores significativamente más elevados en comparación con los observados previamente.

Tal como se muestra en la Tabla 8, se rechaza la hipótesis nula en todas las pruebas de normalidad para cualquier nivel de significación ( $\alpha$ ), con la única excepción del test de Kolmogorov-Smirnov aplicado al platino. A excepción de este caso, se asume que no existe normalidad en el comportamiento de los metales preciosos durante el periodo analizado.

Tras analizar la normalidad, procederemos a estudiar los contrastes de correlación, tanto mediante la prueba de Box-Ljung como a través de una representación gráfica en el siguiente Gráfico 8.

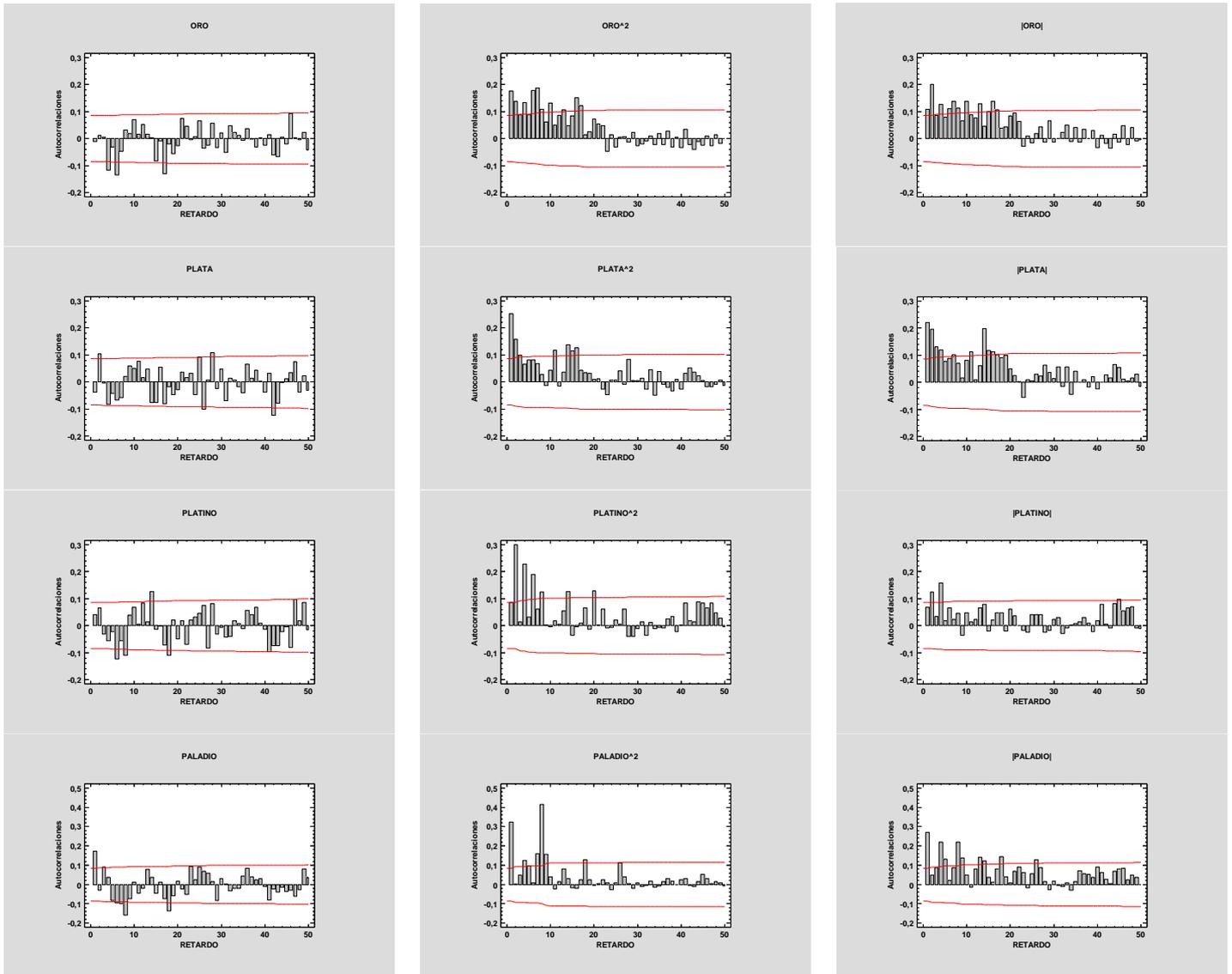
Tabla 9: Resultados del contraste de Box-Ljung para  $Y_t$ ,  $|Y_t|$  e  $Y_t^2$ .  
(21-01-2020 – 23/02/2022)

|                               |      | ORO              | PLATA            | PLATINO          | PALADIO          |
|-------------------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Box-Ljung Test $Y_t$          | m=10 | 22,04<br>(0,01)  | 19,03<br>(0,04)  | 24,88<br>(0,01)  | 51,68<br>(0,00)  |
|                               | m=25 | 45,69<br>(0,01)  | 44,41<br>(0,01)  | 53,21<br>(0,00)  | 84,89<br>(0,00)  |
|                               | m=50 | 65,63<br>(0,07)  | 85,31<br>(0,00)  | 97,92<br>(0,00)  | 114,94<br>(0,00) |
| Box-Ljung Test ( $Y_t^2$ )    | m=10 | 97,40<br>(0,00)  | 65,88<br>(0,00)  | 112,91<br>(0,00) | 189,06<br>(0,00) |
|                               | m=25 | 142,40<br>(0,00) | 104,69<br>(0,00) | 137,96<br>(0,00) | 204,08<br>(0,00) |
|                               | m=50 | 149,00<br>(0,00) | 118,73<br>(0,00) | 165,89<br>(0,00) | 216,97<br>(0,00) |
| Box-Ljung Test<br>( $ Y_t $ ) | m=10 | 79,78<br>(0,00)  | 82,82<br>(0,00)  | 30,36<br>(0,01)  | 121,24<br>(0,00) |
|                               | m=25 | 132,98<br>(0,00) | 146,59<br>(0,00) | 44,08<br>(0,00)  | 171,15<br>(0,00) |
|                               | m=50 | 145,43<br>(0,00) | 162,88<br>(0,00) | 69,24<br>(0,04)  | 213,38<br>(0,00) |

En este subperiodo, como se observa en la Tabla 9, se rechaza la hipótesis nula para todos los rendimientos y retardos analizados, lo que indica la presencia de correlación en los rendimientos y en la volatilidad en este periodo.

Tanto en la Tabla 9 como en el Gráfico 8, tanto los rendimientos simples como los rendimientos al cuadrado y absolutos presentan gran autocorrelación significativa. Además, al comparar los dos últimos entre sí, se observa que la autocorrelación en los rendimientos absolutos es mayor que en los rendimientos al cuadrado, cumpliendo así esta característica en todos los casos analizados, el Efecto Taylor.

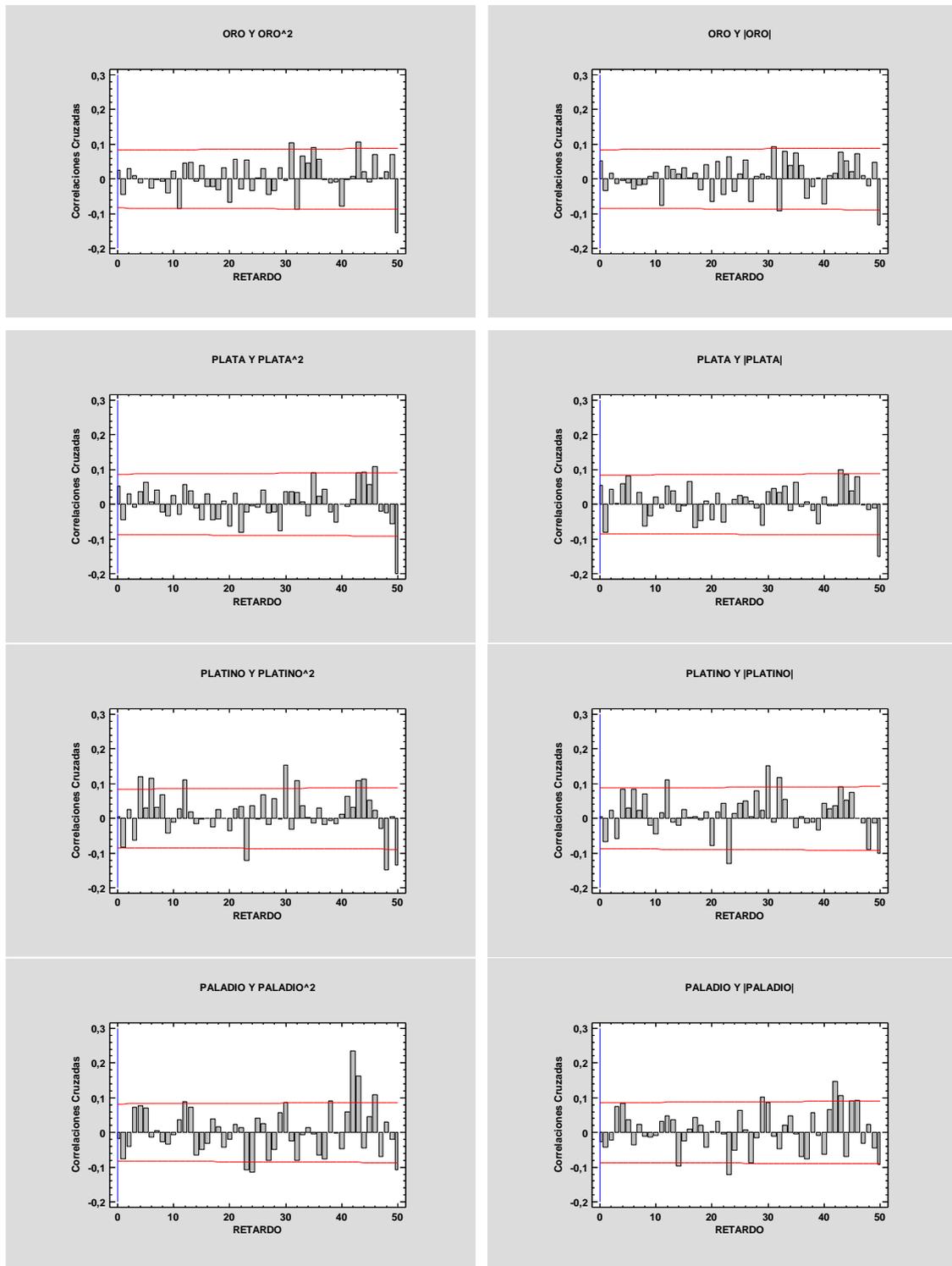
Gráfico 8: Función de autocorrelación para rendimientos, cuadrados y valores absolutos (21-01-2020 – 23/02/2022)



Tras la autocorrelación, comentamos en el Grafico 9 las correlaciones cruzadas entre los rendimientos simples pasados y los rendimientos cuadrados y absolutos futuros para este subperiodo, por si existe el efecto apalancamiento.

En este caso, existe más negatividad que en las otras tablas estudiadas, tanto el paladio como el platino, tienen una mayor negatividad en sus retardos, en este caso, si se puede asumir efecto apalancamiento.

Gráfico 9: Correlaciones cruzadas de rendimientos, cuadrados y valor absoluto (21-01-2020 – 23/02/2022)



### 5.3. Propiedades en el periodo guerra Ucrania-Rusia

Al igual que en las secciones previas, iniciamos con el análisis de la estadística descriptiva presentada en la Tabla 10, seguido de las pruebas de contraste de normalidad mostradas en la Tabla 11. Estas pruebas nos permiten examinar las características de la distribución de los rendimientos durante este periodo.

Tabla 10: Estadísticos descriptivos de los rendimientos  
(24/02/2022 – 28/03/2024)

|         | Media | Mediana | Desviación<br>Típica | Mínimo | Máximo | Asimetría | Curtosis |
|---------|-------|---------|----------------------|--------|--------|-----------|----------|
| ORO     | 0,03  | 0,01    | 0,90                 | -2,97  | 3,43   | 0,13      | 1,15     |
| PLATA   | 0,01  | -0,10   | 1,77                 | -5,26  | 7,83   | 0,51      | 1,89     |
| PLATINO | -0,03 | -0,04   | 1,83                 | -6,08  | 5,62   | 0,08      | -0,04    |
| PALADIO | -0,16 | -0,26   | 2,96                 | -14,57 | 14,59  | 0,14      | 2,36     |

Tabla 11: Estadísticos y p-valores para los contrastes de normalidad de los rendimientos  
(24/02/2022 – 28/03/2024)

| Tests de Normalidades         | ORO            | PLATA           | PLATINO        | PALADIO          |
|-------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|
| Jarque-Bera                   | 30,5<br>(0,00) | 101,1<br>(0,00) | 0,67<br>(0,72) | 124,46<br>(0,00) |
| Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors | 0,05<br>(0,10) | 0,05<br>(0,16)  | 0,03<br>(0,86) | 0,04<br>(0,37)   |

La media y mediana tienen valores muy cercanos a cero. La desviación típica tiene unos valores muy similares a los descriptivos de la general. Tanto los valores máximos como los mínimos del periodo son distantes entre sí, pero no como en el periodo B.

La asimetría es un valor positivo muy próximo para cumplir simetría y la curtosis presenta casi distribución mesocuantica, factor que nos puede decir que puede ser el periodo donde los rendimientos han sido menos volátiles.

En la prueba de Jarque-Bera, vemos que excepto el platino, todos los contrastes rechazan la hipótesis de normalidad. En la otra prueba, todos aceptan la hipótesis de normalidad.

Tras el análisis de normalidad, procedemos realizar el análisis dinámico; véase en la Tabla 12 y el Grafico 10 el análisis de autocorrelación de las series de rendimientos simples, cuadrados y absolutos.

Tabla 12: Resultados del contraste de Box-Ljung para  $Y_t$ ,  $|Y_t|$  e  $Y_t^2$ .  
(24/02/2022 – 28/03/2024)

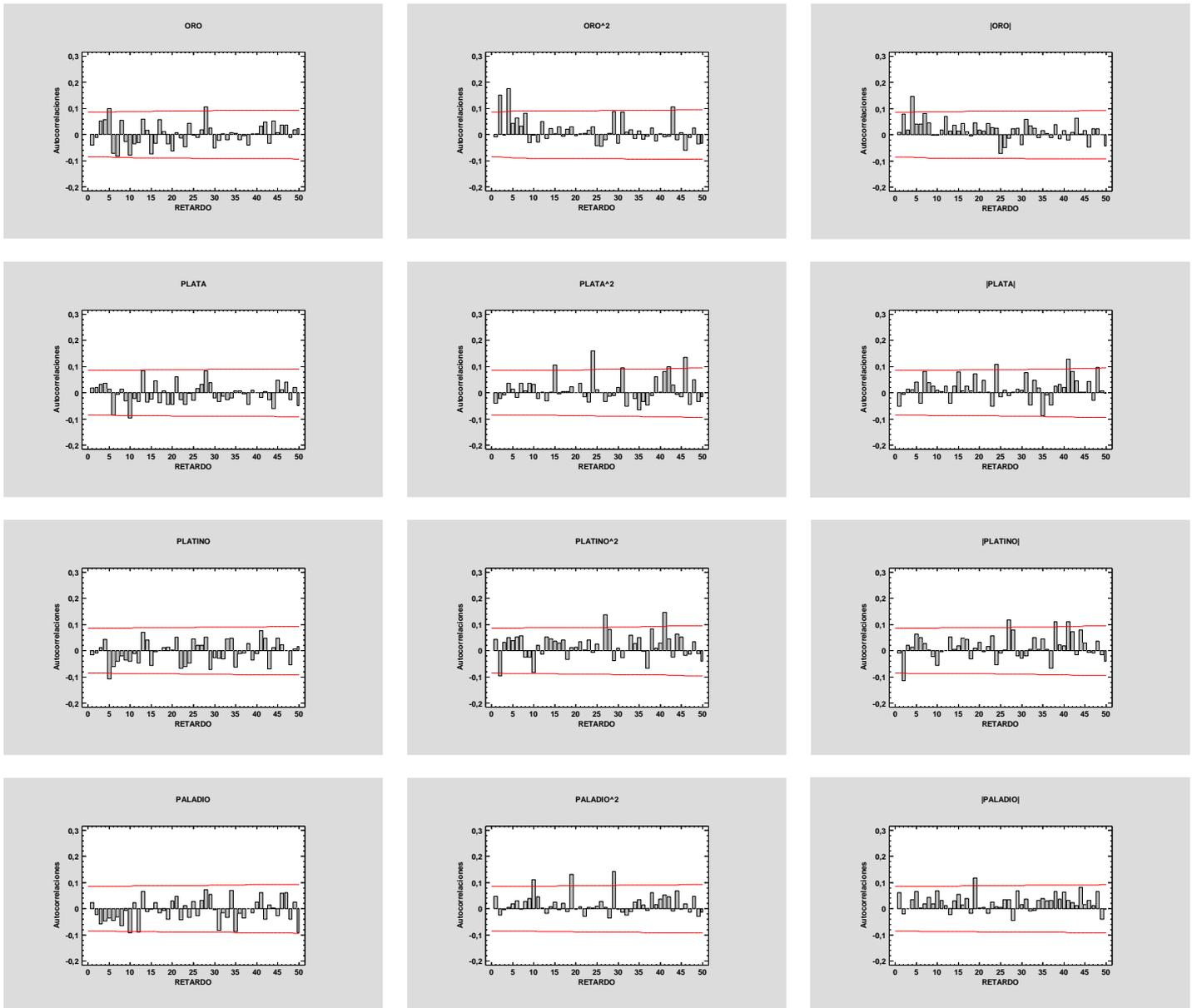
|                               |      | ORO             | PLATA           | PLATINO         | PALADIO         |
|-------------------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Box-Ljung Test $Y_t$          | m=10 | 18,01<br>(0,05) | 11,28<br>(0,34) | 11,97<br>(0,29) | 13,87<br>(0,18) |
|                               | m=25 | 31,30<br>(0,18) | 27,28<br>(0,34) | 26,49<br>(0,38) | 24,38<br>(0,50) |
|                               | m=50 | 49,50<br>(0,49) | 41,97<br>(0,78) | 47,28<br>(0,58) | 53,72<br>(0,33) |
| Box-Ljung Test ( $Y_t^2$ )    | m=10 | 32,25<br>(0,00) | 5,39<br>(0,86)  | 14,31<br>(0,16) | 7,71<br>(0,66)  |
|                               | m=25 | 38,33<br>(0,04) | 30,69<br>(0,20) | 25,65<br>(0,43) | 15,14<br>(0,94) |
|                               | m=50 | 63,54<br>(0,09) | 70,90<br>(0,03) | 58,20<br>(0,20) | 27,82<br>(1,00) |
| Box-Ljung Test<br>( $ Y_t $ ) | m=10 | 13,57<br>(0,19) | 8,95<br>(0,54)  | 12,96<br>(0,23) | 9,25<br>(0,51)  |
|                               | m=25 | 23,75<br>(0,53) | 28,57<br>(0,28) | 23,89<br>(0,53) | 21,17<br>(0,68) |
|                               | m=50 | 37,79<br>(0,90) | 66,63<br>(0,06) | 57,89<br>(0,21) | 37,94<br>(0,89) |

En este subperiodo correspondiente a la guerra entre Ucrania y Rusia, la Tabla 10 presenta resultados similares a los del primer periodo analizado. No se rechaza la hipótesis de ausencia de autocorrelación en los rendimientos simples, cuadrados ni absolutos, lo que indica que no hay autocorrelación significativa en esta serie temporal.

Además, el Gráfico 10 confirma visualmente esta ausencia de autocorrelación, ya que casi todos los coeficientes de autocorrelación se encuentran dentro de las bandas de confianza de Bartlett. Esto sugiere que, en este tercer periodo, los rendimientos simples son prácticamente independientes en el tiempo.

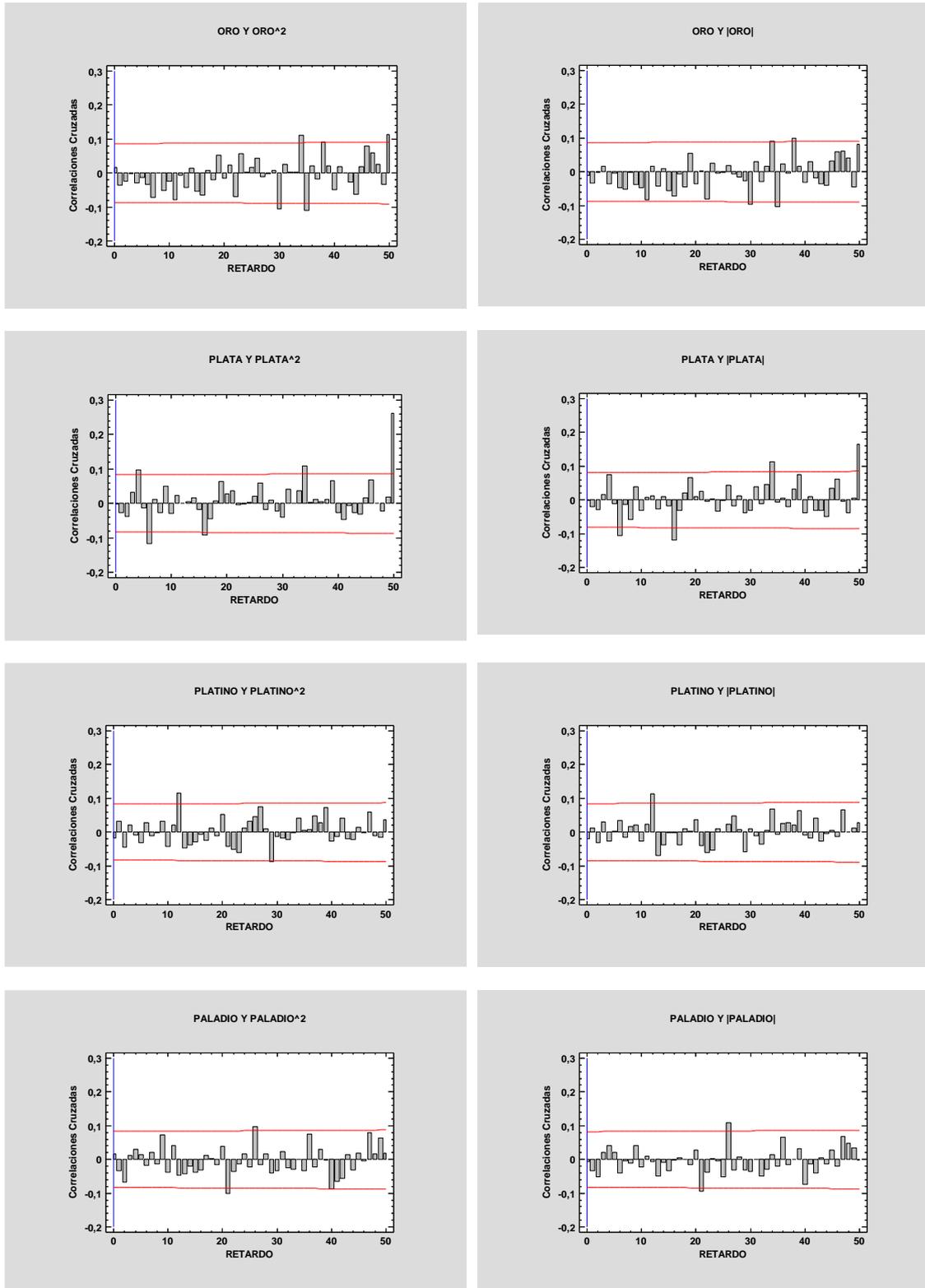
En cuanto al Efecto Taylor, su presencia no es evidente gráficamente en este periodo. Según la Tabla 10, el efecto no se cumple, ya que los valores de los rendimientos cuadrados son mayores que los de los rendimientos absolutos, lo cual contradice la típica relación del efecto en la que se espera una persistencia en la varianza de los rendimientos.

Gráfico 10: Función de autocorrelación para rendimientos, cuadrados y valores absolutos.  
(24/02/2022 – 28/03/2024)



Por último, en el Gráfico 11 se analiza la posible presencia del efecto de apalancamiento en este subperiodo, tanto para los rendimientos cuadrados como para los absolutos en función de los rendimientos simples. Se observa que la volatilidad en los rendimientos cuadrados es mayor en comparación con los retardos de los rendimientos absolutos. Sin embargo, aunque se aprecia cierta negatividad en las autocorrelaciones, esta no resulta lo suficientemente significativa como para evidenciar un efecto de apalancamiento claro. Por lo tanto, en este mercado no se manifiesta un efecto de apalancamiento marcado.

Gráfico 11: Correlaciones cruzadas de rendimientos, cuadrados y valor absoluto (24/02/2022 – 28/03/2024)



## 6. CONCLUSIONES

Tras el análisis de los precios de los metales preciosos y sus respectivos rendimientos, podemos determinar si estos cumplen con los hechos estilizados mencionados al inicio de este trabajo:

- **Media cero y exceso de curtosis:** En el periodo general, así como en los distintos subperiodos, los rendimientos de los metales preciosos cumplen con la propiedad de media cero y presentan exceso de curtosis, una característica común en activos financieros que muestra una mayor concentración de valores extremos.
- **Autocorrelaciones de los rendimientos simples:** En el periodo general, no todos los metales cumplen con esta característica, siendo el oro una excepción por su falta de autocorrelación significativa en los rendimientos simples. En los subperiodos, se observa que tanto el primer como el tercer subperiodo muestran esta independencia temporal esperada en los rendimientos simples, lo cual sugiere una menor predictibilidad de estos precios en dichos intervalos.
- **Autocorrelaciones cuadradas y absolutas y el Efecto Taylor:** En el periodo general, se verifica tanto la autocorrelación en los rendimientos cuadrados y absolutos como el Efecto Taylor, evidenciando persistencia en la volatilidad. Sin embargo, en los subperiodos esta tendencia varía. En el primer subperiodo, se cumple el Efecto Taylor, aunque no se alcanza significación estadística. En el tercer subperiodo, ninguna de las dos propiedades se cumple, mientras que en el subperiodo intermedio ambas se verifican, reflejando diferencias en la dinámica de volatilidad según el contexto temporal.
- **Efecto apalancamiento (Leverage Effect):** El análisis del leverage effect en los rendimientos indica que, aunque se observa cierta negatividad en las autocorrelaciones durante todos los periodos, esta no es lo suficientemente pronunciada como para ser significativa en ninguno de ellos. Esto sugiere que en el mercado de metales preciosos no se produce un efecto de apalancamiento marcado, una diferencia respecto a otros mercados financieros donde las caídas en los precios tienden a generar incrementos significativos en la volatilidad.

Estos resultados indican que los metales preciosos presentan dinámicas propias en su comportamiento, que varían según el periodo histórico analizado. Como hemos observado, los patrones en los periodos pre-COVID difieren considerablemente de aquellos registrados durante la pandemia y la guerra entre Ucrania y Rusia. Esta sensibilidad a factores económicos y políticos hace de los metales preciosos una opción relevante para estrategias de inversión defensivas en contextos de alta incertidumbre, mostrando su potencial como activos de refugio ante eventos de inestabilidad global.

## REFERENCIAS

Cont, R. (2001). Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*, 1(2), 223–236. <https://doi.org/10.1088/1469-7688/1/2/304>

Diebold, F. X. (1999). *Elementos de pronóstico*. Internacional Thomson. Cap. 6.

Granger, C. W. J., & Ding, Z. (1994). Stylized facts on the temporal and distributional properties of daily data from speculative markets. *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.146678>

Peña, D. (2005). *Análisis de series temporales*. Grupo Anaya Comercial.

Ruiz Ortega, E., & Veiga, M. H. (2008). Modelos de volatilidad estocástica: Una alternativa atractiva y factible para modelizar la evolución de la volatilidad. *Anales de Estudios Económicos y Empresariales*, 18, 9–68.

Sherkar, V., & Sen, R. (2023). *Study of stylized facts in stock market data*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2310.00753v1>

Taylor, S. J. (1986). *Modelling financial time series*. World Scientific.

Taylor, S. J. (2005). *Asset price dynamics, volatility, and prediction* (Student edition). Princeton University Press.

Uddin, G. S., Shahzad, S. J. H., Boako, G., Hernandez, J. A., & Lucey, B. M. (2019). Heterogeneous interconnections between precious metals: Evidence from asymmetric and frequency-domain spillover analysis. *Resources Policy*, 65, 101583.