

Fernando González Vigil y Pilar Obando Hirano (editores)

17

DOCUMENTO  
DE INVESTIGACIÓN

# Economía aplicada

Ensayos de investigación económica 2018

Frida Infante Bravo

Kharla Loayza Zegarra

Zamira Olórtegui Juárez

Carmen Rozas Olivera

Carla Srebot Roeder

Yulia Valdivia Rivera

Fondo  
Editorial



UNIVERSIDAD  
DEL PACÍFICO

Fernando González Vigil y Pilar Obando Hirano (editores)

17

DOCUMENTO  
DE INVESTIGACIÓN

## Economía aplicada

Ensayos de investigación económica 2018

Frida Infante Bravo  
Kharla Loayza Zegarra  
Zamira Olórtegui Juárez  
Carmen Rozas Olivera  
Carla Srebot Roeder  
Yulia Valdivia Rivera

Fondo  
Editorial



UNIVERSIDAD  
DEL PACÍFICO

# La efectividad de la cobertura y el vencimiento de los contratos futuros: el caso de los precios de Comex Gold Futures y Comex Copper Futures<sup>1</sup>

Zamira Olórtogui Juárez

## 1. Introducción

El estudio del mercado de *commodities* es importante, tanto para investigadores como para productores, consumidores, gestores de portafolio y participantes del mercado financiero en general. La volatilidad en los precios de esos activos tiene un alcance global, pues involucra a agentes económicos de todo el mundo que buscan maximizar el rendimiento de sus activos. En cuanto a productores y consumidores, Pindyck (2004) establece que la volatilidad de los precios puede afectar variables del mercado a través del valor marginal de almacenamiento de un bien, el costo marginal de la producción y el costo de oportunidad de producir el *commodity* hoy en vez de esperar por nueva información de precios. Según Khurelbaatar (2015), los factores que afectan la trayectoria de precios son la explotación de un nuevo recurso, los cambios en el entorno político y económico, los cambios estructurales en las industrias relacionadas con el recurso, los anuncios macroeconómicos por parte de potencias económicas, entre otros. Debido a la volatilidad en los precios de los *commodities* y a la creciente competencia a escala global, las firmas deben protegerse ante su exposición al cambio en los precios mediante técnicas financieras de manejo de riesgo.

En el Perú, el desarrollo de un mercado de futuros regulado se ha visto obstaculizado por la inexistencia de un mercado centralizado de derivados

---

<sup>1</sup> Este ensayo es una versión resumida y editada del Trabajo de Investigación Económica que, con el mismo título, fue concluido en junio de 2018. La autora agradece muy especialmente al profesor Diego Winkelried, por haber aceptado apoyarla como asesor de esta investigación, así como a la Universidad del Pacífico, por abrir las puertas de la Economía y las Finanzas a su vida.

financieros. La mayoría de las transferencias no se registran y no existen datos específicos sobre el total de participantes en estos mercados, entre otros datos relevantes para el presente estudio. Sin embargo, diversos agentes tienen acceso a mercados financieros en otros países mediante plataformas *online* de *trading*, donde pueden reproducir estrategias de cobertura. En el caso peruano, sí se conoce, por ejemplo, que Kallpa Securities SAB (Sociedad Agente de Bolsa) tiene bajo cobertura a 11 empresas peruanas mineras, tales como Atacocha, Minsur, Cerro Verde, entre otras. Se sabe además que hay más de 500 empresas mineras en el país, ya sea en proceso de producción o realizando actividades de exploración (Kallpa Securities SAB, 2018).

Lo anterior representa un gran potencial que justifica la necesidad de investigar los beneficios de estrategias financieras de manejo de riesgo y de los contratos futuros como herramienta accesible de cobertura. En tal sentido, ya se ha identificado que uno de los principales factores obstaculizadores del desarrollo del mercado de derivados financieros en el Perú es el desconocimiento de sus beneficios por parte de empresas, organismos y agentes individuales (Antezana, Minaya, & Torrejón, 2013).

Ello explica la principal motivación de la presente investigación, consistente en contribuir a un mejor conocimiento sobre productos financieros como los contratos futuros y a la expansión de la cultura de derivados en el Perú. En particular, se estudia el mercado de futuros y las estrategias de cobertura que confieren, dado que los contratos futuros son muy líquidos y preferidos debido al respaldo por parte de un *exchange traded fund*<sup>2</sup>.

Lo anterior está enfocado en los casos del oro y del cobre, dada la importancia de estos metales para la economía peruana. En efecto, el Perú se ha posicionado como el sexto productor mundial de oro y líder en Sudamérica (BCRP, 2018), y como el segundo productor mundial de cobre, el cual ocupa el primer lugar en las exportaciones peruanas; y la volatilidad en los precios de estos metales afecta a más de 500 empresas mineras locales. Víctor Burga, socio de Auditoría en EY, señala que uno de los principales riesgos de las empresas mineras peruanas es la fluidez de efectivo, dado que su generación y preservación se ven afectadas por la volatilidad del mercado (Burga, 2016). Entre 2014 y 2016, la caída en el precio de los metales generó que las empresas mineras restrinjan su capital destinado a nuevas inversiones y lo destinen al pago de deudas y/o a capital de trabajo. A partir de 2016, los precios han aumentado y la situación de las empresas ha mejorado, ya

---

<sup>2</sup> Mecanismo centralizado de negociación mercantil.

que cuentan con liquidez suficiente para ampliar sus operaciones (Kallpa Securities SAB, 2018).

Además, realizar un análisis comparativo de estrategias de cobertura entre los dos metales es interesante, dada la distinta naturaleza de la determinación de sus precios. El precio del oro depende no solo del balance entre su oferta y demanda, sino también de las percepciones especulativas en el mercado de un metal visto como un activo de refugio. El cobre, por el contrario, tiene un precio determinado principalmente por el balance de su oferta y demanda y por los ciclos económicos, al ser un metal muy utilizado por varias industrias. Su principal comprador, China, tuvo una mejora económica durante 2017 que aumentó la demanda de cobre y su precio (Kallpa Securities SAB, 2018).

Varios investigadores han analizado contratos futuros con distintos vencimientos para probar la eficiencia de la cobertura, utilizando distintas metodologías para determinar la que minimiza la exposición al riesgo de un inversionista (MCO, Garch, entre otras). Sin embargo, la pregunta diferente que guía esta investigación es la siguiente: ¿el vencimiento del contrato utilizado es también un determinante de la eficiencia de la cobertura? En específico, se busca responder a la pregunta de si, en un caso hipotético en el que el período de cobertura deseado es de seis meses, la cobertura resulta más efectiva utilizando contratos futuros cuya duración calce con dicho período (seis meses), o recurriendo a sucesivos contratos al mes siguiente (*first-near-month* o *near-month* simplemente) hasta cubrir el período de cobertura deseado. Al respecto, se mostrará que la elección entre esos dos contratos con distintos vencimientos es una decisión clave para el inversionista, porque ambos contratos no reducen el riesgo en igual medida.

Con tal fin, se parte asumiendo que, dada la imperfección del sistema financiero, el vencimiento de los contratos tiene un efecto sobre la efectividad de la cobertura. El ejercicio de cobertura por seis meses es repetido a lo largo de 14 años (de enero de 2004 a diciembre de 2017) para obtener resultados más relevantes. Con el mismo propósito, ese período de análisis es subdividido en tres subperíodos que se explican por la crisis de 2008 y se trabajan por separado, pero con la misma metodología: el subperíodo 2004-2007, de pre crisis financiera; el subperíodo 2008-2011, durante la crisis financiera; y el subperíodo 2012-2017, post crisis financiera. Estas tres muestras permiten recoger alteraciones a causa de la crisis que puedan afectar los resultados. Su robustez es verificada utilizando, para cada muestra, dos frecuencias distintas de datos y aplicando tanto primeras diferencias como diferencias de seis meses (dado el período de cobertura propuesto).

Aunque varios estudios aportan evidencia empírica sobre la relación entre mercados de transacciones inmediatas (o mercados *spot*) y mercados de futuros (o para transacciones pactadas a una fecha futura), sorpresivamente, no existen muchas investigaciones acerca de la madurez de los contratos futuros. A este conocimiento aporta la presente investigación, que se enfoca en los casos del oro y del cobre a lo largo de tres subperíodos (o muestras) y analiza no solo el efecto de dicha madurez en la reducción del riesgo, sino también el impacto sobre los retornos de los diferentes costos de transacción asociados a contratos de distinto vencimiento. Se realizan así dos tipos de análisis: primero, se evalúa la eficiencia de la cobertura según la teoría del portafolio para cada tipo de contrato, calculando las varianzas de los portafolios; y, luego, se evalúan los retornos de estos portafolios incluyendo el diferencial (*spread*) compra-venta como indicador aproximado (*proxy*) de los costos de transacción. Los resultados indican que, si bien ambos contratos son efectivos en cuanto a reducir el riesgo del portafolio, (1) la cobertura es más eficiente utilizando contratos *near-month*; y (2) el mencionado *spread* no altera estas preferencias, pero sí reduce los retornos. Pero se halla una excepción en el caso del oro durante el subperíodo de crisis.

El resto de este ensayo está estructurado de la siguiente manera: la revisión de literatura, donde se reseñan las teorías planteadas y los resultados obtenidos por otros estudios; la descripción de los datos utilizados y su composición; la metodología, donde se desarrollan los modelos que sustentan el análisis empírico desde las perspectivas del riesgo y de los retornos; los resultados, donde se analiza lo encontrado con la metodología aplicada al período total y a sus tres subperíodos, cuya robustez es verificada con pruebas de primeras diferencias y de diferencias de seis meses; y las conclusiones, donde se resumen los hallazgos, sus limitaciones y repercusiones.

## 2. Revisión de literatura

La literatura sobre la cobertura (*hedge*) con contratos futuros es vasta y revela un particular interés en proponer la metodología más adecuada para una estimación óptima de la *hedge ratio*. También aborda temas relacionados con el horizonte y la efectividad de la cobertura, la determinación de precios *spot* y futuros, la frecuencia de los datos necesaria para calcular estimadores de evaluación de la cobertura, e interrelaciones entre estos temas. Sin embargo, los estudios enfocados directamente en la relación entre madurez del contrato y efectividad de la cobertura son escasos, más aún para metales como el oro y el cobre.

Johnson (1960) y Stein (1961) introdujeron el enfoque de portafolio, a partir del cual se construyó la teoría del portafolio para el análisis de la cobertura. Este enfoque determina la posición óptima de contratos futuros (o *hedge ratio*) bajo el supuesto de que, en esa posición, la varianza del portafolio es mínima. La aplicación econométrica del enfoque empezó utilizando regresiones de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para estimar la relación entre cambios de precios *spot* y cambios en precios futuros. El primer investigador en establecer un modelo empírico para estimar la *hedge ratio* o ratio de cobertura fue Ederington (1979). Su principal contribución fue el concepto de *minimum-variance-hedge-ratio*; es decir, la *hedge ratio* que genera la menor variabilidad en el portafolio del inversionista y así minimiza el riesgo de la posición con cobertura.

Kernourgios, Samitas & Drosos (2008), luego de comparar el desempeño de la cobertura utilizando distintos métodos, concluyeron que el modelo de corrección de errores es mejor cuando se busca minimizar el riesgo de movimientos adversos en los precios S&P 500 Index Futures Contract. Pero Miffre (2004) sostiene que una estimación MCO es el mejor método para obtener la *hedge ratio* porque: (1) reconoce la correlación entre los precios *spot* y futuros; (2) captura los movimientos estocásticos en las *hedge ratios* que surgen de la variación temporal en los retornos esperados; y (3) resulta fácil de estimar.

Siguiendo dicho enfoque, intuitivamente la *hedge ratio* óptima define la posición en el mercado de futuros que minimiza tanto el riesgo de exposición en el mercado *spot*, como la cantidad del *commodity* que debe ser cubierta con contratos futuros. Por ello, la presente investigación considera que la estrategia más efectiva para reducir el riesgo es aquella que minimice la volatilidad en los precios *spot* para el agente, medida por la varianza en el portafolio (o posición) de la cobertura. Pero la presente investigación no ignora los retornos, sin desconocer que el principal objetivo de la cobertura es mitigar el riesgo.

Ahora bien, el uso de contratos con distinta madurez tiene un efecto sobre la ratio de cobertura. Samuelson (1965) señaló que los contratos futuros con vencimientos distantes son menos volátiles que los de vencimiento cercano. Su argumentación consiste en que, conforme los contratos futuros se aproximan a su vencimiento, tienden a responder más fuertemente a la nueva información sobre las condiciones de mercado esperadas. Como esta información es más incierta cuanto más distantes son los vencimientos de contratos futuros, dicho autor sostiene que utilizar contratos futuros con vencimientos más cercanos permitirá obtener una ratio de cobertura mayor. Esto es contrario a algunos de los resultados obtenidos por la investigación presentada en este ensayo y

que, más bien, coinciden con los de autores como Lee, Bubnys & Lin (1987) y Ripple & Moosa (2007).

En relación con lo anterior, los especialistas han investigado el horizonte para evaluar la cobertura. Dewally & Marriot (2008), al estudiar la *hedge ratio* en mercados de metales industriales entre 1998 y 2006, encuentran que la efectividad de la cobertura aumenta cuando se incrementa el período de cobertura y sugieren un horizonte de cobertura de 6 a 8 semanas. Su explicación radica en que horizontes de cobertura más amplios implican una reversión a la media conjunta de los precios *spot* y futuros. Asimismo, Chen, Lee & Shrestha (2004) estiman una *hedge ratio* con cointegración y encuentran que la efectividad mejora al utilizar períodos de cobertura más largos, debido a que en horizontes cortos hay sobrereacciones de mercado con mayor frecuencia, mientras que, en períodos largos, la racionalidad de los agentes prevalece. Estos hallazgos concuerdan con los de Juhl, Kawaller & Koch (2012), quienes concluyen que un período de cobertura más amplio genera una *hedge ratio* óptima más cercana a uno, y que la cobertura mejora cuando los precios son cointegrados.

También ha sido analizado el impacto de la frecuencia de los datos utilizados y del horizonte de evaluación sobre el coeficiente de la *hedge ratio*. Con tal propósito, se ha trabajado con datos cuya frecuencia calza con el período de cobertura y con datos de distintas frecuencias. Malliaris & Urrutia (1991) utilizaron datos semanales y encontraron que la cobertura es más efectiva cuando el horizonte de cobertura es igual a la frecuencia de los datos utilizados para el estudio. Sin embargo, al hacer coincidir manualmente la longitud del horizonte de cobertura con la frecuencia de los datos, se pierden observaciones y esto merma la representatividad de los resultados obtenidos. Este problema se resuelve con la metodología planteada por Geppert (1995), consistente en utilizar diferenciaciones de  $k$ -períodos en las series, donde  $k$  es el período de cobertura elegido para el estudio. La presente investigación utiliza esa metodología como prueba de robustez.

Respecto al efecto del vencimiento de los contratos utilizados para la cobertura en la eficiencia de esta, cuya elucidación es muy importante para la presente investigación, Ripple & Moosa (2007) analizan dicho efecto en el caso de contratos futuros para el petróleo crudo, utilizando contratos de madurez cercana y distante en una estimación MCO. Sus hallazgos revelan que la efectividad de la cobertura utilizando contratos a meses cercanos es mayor que utilizando contratos de una madurez distante que calce con el período de cobertura deseado. Estos resultados sugieren, siguiendo a Samuelson (1965),

que la menor volatilidad de los precios futuros al utilizar contratos de madurez distante no compensa la mayor correlación entre el precio *spot* y el precio de los contratos con vencimiento a meses cercanos; además de que coinciden con los de dicho autor en cuanto a que las *hedge ratio* son menores para la cobertura con contratos con vencimiento a meses cercanos.

Sin embargo, una estrategia de cobertura en el mercado de futuros con contratos de menor vencimiento implica un mayor número de transacciones. Es importante no ignorar estos costos porque afectan los retornos del inversionista. Los costos de transacción pueden ser divididos en dos categorías: implícitos y explícitos. Los costos explícitos incluyen las comisiones de corretaje, tarifas e impuestos. Pero los costos implícitos pueden exceder en gran medida a los explícitos. El componente más relevante de estos costos es el diferencial *bid-ask* (o diferencial compra-venta) en que un inversionista incurre al cerrar una posición y al abrir una nueva; es decir, la diferencia entre lo que pagará un comprador y lo que el vendedor recibirá por un contrato en particular en un momento dado. El diferencial compra-venta es útil como *proxy* para los costos de transacción<sup>3</sup>, ya que es un indicador preciso del costo instantáneo al realizar una operación y se cuantifica con relativa facilidad.

### 3. Los datos

Comex (Commodity Exchange Inc.) es el principal mercado de futuros y opciones de metales (como oro, plata, cobre y aluminio), los cuales se negocian en contratos de tamaño estandarizado, así como en versiones mini y micro<sup>4</sup>. Más de 400.000 contratos futuros se ejecutan diariamente en este mercado, considerado el centro de intercambio de metales más líquido del mundo. En particular, los metales oro y cobre tienen contratos futuros de seis meses con vencimiento en junio y diciembre. Esta semejanza (que no se da en el caso del metal plata, por ejemplo) permite la comparación que hace el presente estudio.

Los precios futuros y *spot* fueron extraídos del *software* financiero Bloomberg. Se descargaron los precios futuros *first-near-month* y los precios históricos de contratos de seis meses con vencimiento en junio y diciembre, así como los precios *spot* durante el período de análisis: 2004-2017. Los datos extraídos tienen frecuencia mensual. Para construir la serie de precios futuros, el *software* Bloomberg da la opción de emplear un método de empalme que refleja la siguiente actividad del mercado: a medida que un contrato se acerca

<sup>3</sup> Sobre esta metodología, véase Demsetz (1968) y Glosten & Harris (1988).

<sup>4</sup> Un contrato E-Micro representa una décima parte de un contrato tradicional de futuros.

al vencimiento, el foco de mercado cambia al siguiente contrato del mismo vencimiento, y el empalme de precios cuando cambia el contrato activo se basa en el volumen de transacciones y la tasa de interés abierta. Por ello, para el caso de los contratos *near-month*, el empalme en la serie de precios se hizo cuando tanto el volumen como la tasa de interés eran mayores para el siguiente contrato que para el actual.

La serie de precios para los contratos de seis meses fue construida tomando el primer contrato a seis meses en enero de 2004, siguiendo su precio hasta el vencimiento (junio) y luego tomando el siguiente contrato a seis meses con vencimiento en diciembre; y así sucesivamente hasta diciembre de 2017. El respectivo empalme de precios también se hizo cuando fueron cumplidas las condiciones arriba mencionadas: volumen de transacciones y tasa de interés mayores para el siguiente contrato. A fin de poder construir las series de precios de cada metal con el método de empalme descrito, se descargaron los precios históricos de los respectivos contratos de seis meses con vencimientos en junio y en diciembre.

#### **4. Marco analítico y metodología**

##### **4.1 Medición de la reducción de riesgo a partir de la estrategia de cobertura: la variabilidad de los retornos cubiertos y no cubiertos**

Se asume un agente productor que utiliza una posición corta en el mercado de futuros para cubrirse del posible cambio en los precios del metal correspondiente. El número de contratos futuros cortos requeridos para cubrir cada unidad de posición larga en el mercado *spot* es conocido como *hedge ratio* y es denotado con  $h$ . El ejercicio de cobertura se aplica durante seis meses y se repite durante un período de 14 años, con el fin de obtener resultados más significativos. Cada rendimiento de cobertura es evaluado para la muestra total, de 2004 a 2017, y por separado para las muestras del subperíodo 2004-2007 de precrisis, del subperíodo 2008-2011 de crisis, y del subperíodo 2012-2017 de poscrisis. El segundo subperíodo contiene un año de considerable volatilidad en todos los mercados financieros. Esa crisis indujo el comercio del oro entre inversionistas de todo el mundo, quienes percibieron ese metal como una fuente de liquidez y como una inversión conveniente, ya que otras oportunidades de inversión se volvieron muy riesgosas.

Se toman logaritmos a las series de precios futuros y *spot*, de tal manera que el logaritmo de cada precio en el tiempo  $t$  es denotado por  $S_t$  y  $F_t$  respectivamente. Los retornos son definidos como los cambios en los logaritmos de

precios, denotados como  $\Delta S_t = S_t - S_{t-1}$  y  $\Delta f_t = F_t - F_{t-1}$ , para cada serie. Por tanto, las posiciones cubierta  $R_H$  y no cubierta  $R_U$ , o retornos del portafolio, son representadas con las siguientes ecuaciones:

$$R_H = \Delta S_t - h\Delta f_t. \quad (1)$$

$$R_U = \Delta S_t. \quad (2)$$

Ahora bien, dado que el objetivo principal es reducir el riesgo por la volatilidad en los precios, el productor o agente hipotético utiliza una estrategia de cobertura de varianza mínima, cuya efectividad es medida comparando, en términos relativos, las varianzas de la posición cubierta y de la posición sin cobertura. Con tal propósito, se construye la ratio de varianzas de dichas posiciones a fin de comprobar si la cobertura es efectiva; es decir, si la varianza del portafolio con cobertura es menor que la varianza del portafolio sin cobertura. Probar individualmente la efectividad de la cobertura con cada contrato futuro, para el oro y el cobre, equivale a realizar pruebas de hipótesis de igualdad de varianzas. Las respectivas hipótesis nula y alterna son las siguientes:

$$H_0: \sigma^2(R_U) = \sigma^2(R_H), \quad (3)$$

$$H_1: \sigma^2(R_U) > \sigma^2(R_H), \quad (4)$$

donde  $\sigma^2(\cdot)$  representa la varianza del retorno de la posición subyacente. De esta manera, se define la ratio de varianzas  $VR$ , cuyo valor permitirá rechazar la hipótesis nula en caso de que este supere el valor crítico determinado por la distribución F con  $\mathcal{F}(n-1, n-1)$  grados de libertad, como se muestra a continuación:

$$VR = \frac{\sigma^2(R_U)}{\sigma^2(R_H)} > \mathcal{F}(n-1, n-1), \quad (5)$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra.

Asimismo, con el fin de determinar si el uso de contratos *near-month* es más eficiente que el uso de contratos de seis meses, se construyen ratios de varianza de la posición cubierta con contratos *near-month* y de la posición cubierta con contratos de seis meses, para comparar cuál de los dos contratos tiene un mejor desempeño en cuanto a suavizar la variabilidad de todo el portafolio. El procedimiento es similar cuando se contrastan ambas posiciones cubiertas con la no cubierta. Mediante un análisis detallado, se prueban las siguientes dos premisas: (i) si cada tipo de contrato, por separado, es efectivo como método de cobertura; y (ii) si la cobertura es más eficiente utilizando

contratos *near-month* que utilizando contratos de seis meses. Entonces, la ratio de varianzas para la segunda premisa sería la que se presenta a continuación:

$$VR_{6m/nm} = \frac{\sigma^2(R_H^6)}{\sigma^2(R_H^{nm})}, \quad (6)$$

donde  $\sigma^2(R_H^6)$  es la varianza de la posición con cobertura utilizando contratos de seis meses y  $\sigma^2(R_H^{nm})$  es la varianza de la posición con cobertura utilizando contratos *near-month*. Así, una proporción mayor que 1 indicará cuántas veces es la varianza del primer indicador mayor que la del segundo.

Siguiendo la metodología de Ederington (1979), el *test* de varianzas puede ser complementado con el siguiente indicador de reducción de varianza:

$$VD = 1 - \frac{\sigma^2(R_H)}{\sigma^2(R_U)}. \quad (7)$$

Este indicador muestra en qué proporción la cobertura con futuros reduce la varianza de la posición sin cobertura  $R_U$ . Si, por ejemplo, se obtiene una reducción de varianza  $VD$  de 0,88 utilizando contratos futuros de seis meses para el oro, este resultado muestra que cubrirse con contratos futuros a seis meses reduce la varianza de la posición de oro *spot* sin cobertura en un 88% durante el período total de cobertura<sup>5</sup>. Por consiguiente, se busca el indicador que refleje mayor eficiencia y, por lo tanto, sea más cercano a 1.

Por otro lado, en la ecuación (1), se tiene la ratio de cobertura óptima o *hedge ratio* denotada con  $h$ . Esta ratio es calculada aplicando un modelo de regresión simple MCO, por el cual se corre una regresión del retorno de tener el *commodity* en el mercado *spot*  $\Delta s_t$  sobre el retorno de poseer instrumentos futuros de cobertura  $\Delta f_t$ .

De la posición cubierta (1), si se asume que la función de utilidad esperada del inversionista es de media-varianza, se obtiene:

$$EU(x) = E(x) - \gamma Var(x), \quad (8)$$

donde  $\gamma$  es el grado de aversión al riesgo del inversionista ( $\gamma > 0$ ) y  $x = R_H$ , que lo lleva a resolver lo siguiente:

$$\max_h EU(x) = \max_h \{E(\Delta s_t) - hE(\Delta f_t) - \gamma[\sigma_s^2 + h^2\sigma_f^2 - 2h\sigma_{s,f}]\}, \quad (9)$$

donde  $\sigma_s^2$  y  $\sigma_f^2$  son las varianzas de  $\Delta s_t$  y  $\Delta f_t$ , respectivamente; y  $\sigma_{s,f}$ , su covarianza. Resolviendo para  $h$ , se obtiene el número de contratos futuros del portafolio del inversionista:

<sup>5</sup> Por ejemplo, si para este caso se toma todo el horizonte analizado (2004-2017), entonces el período comprendido sería de 14 años.

$$h = \frac{-E(\Delta f_t) + 2\gamma\sigma_{sf}}{2\gamma\sigma_f^2}. \quad (10)$$

Si los retornos futuros siguen una martingala tipo  $E(f_t) = f_{t-1}$ , esa ecuación se reduce a:

$$h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_f^2} = \frac{\text{Cov}(\Delta s, \Delta f)}{\text{Var}(\Delta f)}, \quad (11)$$

que es equivalente al coeficiente obtenido a partir del uso de la metodología MCO y al resultado de aplicar la estrategia de cobertura de mínima varianza.

Adicionalmente, a partir de un procedimiento matemático aplicado a las ecuaciones (7) y (5) (véase el anexo 1), se llega a la siguiente identidad:

$$VD = \rho^2, \quad (12)$$

donde  $\rho = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_s\sigma_f}$  es la ratio entre la covarianza y el producto de las desviaciones estándar de los precios *spot* y futuros, o coeficiente de determinación de la regresión  $\rho^2$ . Esta ratio indica la bondad de ajuste del modelo para estimar la variable que se pretende explicar; es decir, la proporción de la variabilidad de los retornos *spot*  $\Delta s_t$  que es debidamente explicada por la variabilidad del retorno futuro  $\Delta f_t$ . Mientras la variabilidad en los precios futuros explique de mejor manera la variabilidad de los precios *spot*, el  $\rho^2$  es más alto y los instrumentos financieros son más efectivos en su labor de eliminar o reducir el riesgo.

Como prueba de robustez, se utiliza la metodología de diferencias desarrollada por Geppert (1995), aplicando a las series de retorno diferencias de seis meses. De esta manera, las funciones de retorno de precios *spot* y futuros son  $\Delta 6s_t = S_t - S_{t-6}$  y  $\Delta 6f_t = \Delta 6f_t - \Delta 6f_{t-6}$ , respectivamente. Las ecuaciones de retorno quedan así:

$$\Delta 6s_t = \alpha' + h'\Delta 6f_t + \varepsilon_t'. \quad (13)$$

Finalmente, ese mismo procedimiento de diferencias en seis meses es aplicado a los datos mensuales. Sus resultados sirven para comprobar la validez de los resultados que se obtienen al trabajar los datos en primeras diferencias.

#### **4.2 Estimación de la rentabilidad de la cobertura y el *spread* como *proxy* de los costos de transacción**

Cuando autores como Ripple & Moosa (2007) no incluyen los costos de transacción en su análisis, posiblemente crean un sesgo que distorsiona los resultados, porque esos costos con contratos *near-month* son mayores que con contratos de seis meses. En un período de cobertura de seis meses, si se utilizan contratos de seis meses, se realizan dos transacciones (una al abrir y

otra al cerrar la posición); mientras que, si se utilizan contratos *near-month*, se realizan 12 transacciones<sup>6</sup>.

Por ello, el modelo antes presentado es completado incorporando un *proxy* de los costos de transacción, estimado con la metodología de *closing percent quoted spread* (Chung & Zhang, 2014). Este análisis complementa al anterior desde una perspectiva de retornos en vez de riesgos. Así, se calculan los retornos acumulados y promedio (geométrico mensual) del portafolio o posición con cobertura durante el período total analizado, que luego es ajustada por la *ratio spread* para ambos tipos de contratos. Este indicador de costos de transacción, además de representar al costo más significativo durante la cobertura, tiene como ventaja la simpleza de su cálculo con datos fácilmente disponibles.

El diferencial o *spread* en el tiempo  $t$  resulta de la siguiente ecuación:

$$\delta_t = \frac{(Bid_t - Ask_t)}{\frac{Bid_t + Ask_t}{2}}, \quad (14)$$

donde  $Bid_t$  es el precio de compra al final del día y  $Ask_t$ , el de venta. Al incluir  $\delta_t$  en la ecuación de retornos con cobertura (ecuación 1), esta queda como sigue:

$$R_H = \Delta S_t - h(\Delta f_t + \delta_t). \quad (15)$$

Y en el caso de los contratos con vencimiento de seis meses, el *spread* es considerado cada seis meses, cuando el inversor pasaría al siguiente contrato, y así sucesivamente.

## 5. Análisis de resultados

En los anexos del 2 al 9, se presentan los estadísticos relevantes para comparar la efectividad de la cobertura entre contratos *near-month* y contratos de seis meses, utilizando datos con frecuencia mensual y asumiendo un período de cobertura hipotético de seis meses para el oro y el cobre. Los indicadores respectivos son descritos resumidamente en la tabla 1:

---

<sup>6</sup> Al utilizar contratos *near-month* para un período de cobertura de seis meses, cada mes habría que hacer «*rolls*» a la posición, es decir, cerrar la posición actual y abrir la del siguiente vencimiento. Esta actividad se repetiría mes a mes hasta cubrir los seis meses de cobertura.

Tabla 1  
Descripción de indicadores para medir la eficiencia de la cobertura

Indicadores	Breve descripción
<i>Hedge ratio</i>	Ratio de cobertura hallada a partir de la ecuación (11)
Correlación con <i>spot</i>	Coefficiente de correlación de las tasas de retorno <i>spot</i> y las tasas de retorno futuras $\Delta_k s_t$ y $\Delta_k f_t$ , respectivamente
Varianza del <i>spot</i>	Varianza de la tasa de retorno <i>spot</i> $\sigma^2(\Delta_k s_t)$
Varianza del futuro	Varianza de las tasas de retorno futuras $\sigma^2(\Delta_k f_t)$
Varianza del portafolio	Varianza de la posición con cobertura hallada a partir de la ecuación (1)
VR ( <i>Ratio de varianzas</i> )	Ratio de varianza de la posición sin cobertura $R_U$ sobre la varianza de la posición cubierta $R_H$ dada por la ecuación (5)
VD ( <i>Ratio de reducción de varianza</i> )	Reducción de la varianza de la posición sin cobertura $R_U$ al incurrir en el contrato respectivo, obtenida de las ecuaciones (7) y (12)
$VR_{6m/nm}$	Ratio de varianza de la posición cubierta con contratos de seis meses sobre varianza de la posición cubierta con contratos <i>near-month</i> , dada por la ecuación (6)

Cada indicador es obtenido para: (1) los metales oro y cobre; (2) los tres subperíodos y el período total antes mencionados; y (3) la metodología de primeras diferencias y la metodología de diferencias de seis meses como prueba de robustez para este análisis (Geppert, 1995). El valor  $k$  es determinado por el número de diferencias de acuerdo con los datos utilizados. Por ejemplo, la correlación con el *spot* sería la correlación entre  $\Delta_k s_t$  y  $\Delta_k f_t$ , donde  $k$  es 1 si se trabaja con la prueba normal, o 6 si se realiza el análisis de robustez. El resto de los coeficientes se calculan análogamente bajo la misma lógica.

De esta manera, los anexos 2 y 3 muestran los resultados obtenidos para el período total (2004-2017) utilizando primeras diferencias y diferencias de seis meses, respectivamente. Respecto a las muestras por subperíodos de tiempo, los anexos 4 y 5 muestran los resultados para el subperíodo I (2004-2007); los anexos 6 y 7, para el subperíodo II (2008-2011); y los anexos 8 y 9, para el subperíodo III (2012-2017).

En primer lugar, se analiza el período total (2004-2017), el cual será luego contrastado con los tres subperíodos. Los resultados en los anexos 2 y 3 muestran los indicadores descritos para dicho período total, utilizando datos mensuales para el oro y el cobre. En el caso del oro (anexo 2), se observan mayores coeficientes de *hedge ratio* para los contratos *near-month* que para los de seis meses. Además, las varianzas de los precios futuros para contratos

*near-month* son menores. La misma relación de proporcionalidad inversa se cumple en las *hedge ratios* halladas para el cobre (anexo 3). Entonces, tanto para el oro como para el cobre, los contratos de vencimiento cercano poseen una menor varianza y, con esto, una mayor *hedge ratio*. Lo cual sugiere, a la luz de la relación inversamente proporcional entre esa ratio de cobertura y la varianza de los retornos futuros planteada en la ecuación (9), que la variabilidad de los retornos futuros es el principal determinante del tamaño de la *hedge ratio*. Y con diferencias de seis meses, se observan resultados similares para el oro, mas no para el cobre, cuyos contratos de seis meses muestran un mayor coeficiente de *hedge ratio* y una menor varianza. Este resultado confirma la relación de proporcionalidad inversa e indica que la variabilidad de los contratos es el principal determinante de la *hedge ratio*.

Asimismo, los resultados en ambos anexos evidencian que la correlación con el precio *spot* (es decir, el coeficiente de correlación de las tasas de retorno *spot* y futuras) es mayor para los contratos futuros *near-month* que para los de seis meses, en todos los casos. Esto tiene sentido, ya que los contratos de menor madurez tienen precios más cercanos al día presente y, por ello, reflejan de mejor manera los precios *spot*, mientras que los precios a seis meses se encuentran más alejados. Además, los precios de contratos con vencimiento distante incluyen un mayor costo de almacenamiento del producto físico y, por tanto, se alejan en mayor medida del precio *spot*.

Por otro lado, los coeficientes de la ratio de varianzas VR nos indican que, durante el período total analizado y para ambos metales, y tanto con primeras diferencias como con diferencias de seis meses, la cobertura con contratos *near-month* es más eficiente que con contratos de seis meses, lo cual es congruente con la hipótesis planteada en este estudio. Esto se evidencia en mayores ratios VR para contratos de vencimiento cercano. Pero cada tipo de contrato es efectivo en sí, pues el VR refleja la ratio de varianzas de la posición sin cobertura sobre la posición con cobertura. Entonces, por ejemplo, en el caso del oro (anexo 2), se obtiene que la variabilidad de la posición sin cobertura  $R_U$  es 169,89 y 22,55 veces más grande que las variabilidades de las posiciones cubiertas  $R_H$  con contratos *near-month* y de seis meses, respectivamente; y también se obtiene que los contratos *near-month* reducen en mayor proporción la volatilidad de la posición no cubierta  $R_U$ . En paralelo, con el coeficiente VD, en el caso del cobre bajo primeras diferencias, la cobertura con contratos *near-month* reduce la variabilidad de la posición sin cobertura (variabilidad de los retornos del *spot*) en un 97%; mientras que la cobertura con contratos de seis meses la reduce en un 93%. Tales indicadores, que resultaron todos

estadísticamente significativos al 5%, respaldan por tanto la hipótesis de que los contratos con vencimiento cercano son más efectivos.

Finalmente, los indicadores  $VR_{6m/nm}$  para el cobre son 2,63 y 1,30 para las primeras y sextas diferencias; lo que indica la desventaja comparativa de utilizar contratos de seis meses en vez de contratos *near-month*, pues los primeros brindan retornos con aproximadamente el doble de volatilidad. Y lo mismo se observa en los resultados para el oro. Para ambos metales, la ventaja comparativa de utilizar contratos de vencimiento cercano es mayor cuando se trabaja con primeras diferencias.

Ahora corresponde analizar los resultados para cada uno de los tres subperíodos de tiempo. En el subperíodo I (2004-2007), los resultados son congruentes con lo obtenido para el período total respecto a los dos metales. Los contratos *near-month* son más efectivos que los contratos de seis meses, aunque ambos contratos son eficientes (anexos 4 y 5). Asimismo, la ventaja de utilizar contratos con vencimiento cercano es mayor bajo primeras diferencias para ambos metales y, además, es mayor para el oro que para el cobre.

En el segundo subperíodo (2008-2011), se obtienen resultados congruentes con los encontrados para el período total respecto al cobre, cuyas ratios  $VR_{6m/nm}$  son 2,48 y 2,09 con primeras y sextas diferencias respectivamente (anexos 6 y 7). Esto implica que, incluso en esos años de crisis, el cobre mantuvo resultados de efectividad relativa similares a los de otros períodos. Mientras que, en el caso del oro, las ratios en cuestión son 2,32 y 0,62, de modo que la relación de efectividad relativa se invierte y, por tanto, para las diferencias de seis meses, los contratos de seis meses resultaron más efectivos que los contratos *near-month* en dicho subperíodo. Y, para el caso del oro, también se obtienen resultados que están más correlacionados con los contratos de mayor vencimiento. Ello puede deberse a una sobrerreacción ante la mayor volatilidad del mercado de un activo de refugio como es el oro, que en tiempos de crisis es más demandado y, a su vez, es más vendido para cubrir *margin calls*<sup>7</sup> urgidos por pérdidas de valor de posiciones en distintos activos financieros. Además, esa crisis financiera se caracterizó por una falta de liquidez en el mercado y la consiguiente distorsión de precios. Por el contrario, el cobre es un activo de uso industrial, que se adquiere y/o vende principalmente en función de los respectivos ciclos de oferta y

---

<sup>7</sup> Un *margin call* ocurre cuando se notifica a un inversor que el capital en su cuenta se encuentra por debajo del mínimo necesario para mantener una posición abierta. A medida que los activos subyacentes de la posición pierden valor, los inversores deben cubrir un mínimo de fondos en su cuenta o cerrar la posición si no pueden cubrirlo.

demanda; raramente con fines de inversión financiera o especulativa. Sin embargo, debe resaltarse que, en el subperíodo de crisis, se debilitó la ventaja comparativa de los contratos con menor vencimiento para ambos metales, tal como evidencian los antes mencionados valores de las ratio  $VR_{6m/nm}$ , menores que para el período total.

Respecto al tercer subperíodo (2012-2017), los resultados son congruentes con los del período total; en particular, los contratos *near-month* resultan más efectivos que los de seis meses para ambos metales (anexos 8 y 9). Esta efectividad relativa es más fuerte para el oro que para el cobre, y la ventaja de los contratos con menor vencimiento es mayor bajo primeras diferencias. Las ratios  $VR_{6m/nm}$  son 4,76 (primeras diferencias) y 4,07 (diferencias de seis meses) para el oro; y 2,65 (primeras diferencias) y 1,44 (diferencias de seis meses) para el cobre. Es decir, utilizar para el oro contratos de seis meses genera una variabilidad en el portafolio cuatro veces mayor que la que se obtiene utilizando contratos *near-month*; mientras que la ventaja comparativa para el cobre es algo menor. En todos los casos, la correlación de contratos *near-month* y precios *spot* es más fuerte que la de los contratos de seis meses y precio *spot*.

En síntesis, los principales resultados obtenidos para el período total y los tres subperíodos se resumen así:

1. No hay un patrón definido de los coeficientes *hedge ratio* para la cobertura con contratos *near-month* y la cobertura con contratos de seis meses: en algunos casos, la ratio es mayor para los primeros y en otros casos, no.
2. Ambos contratos (*near-month* y de seis meses) son efectivos para la cobertura en cuanto a que reducen la variabilidad de la posición no cubierta.
3. Los contratos *near-month* son más efectivos en cuanto a que reducen en mayor proporción la variabilidad de la posición no cubierta. La sola excepción es el resultado obtenido con la metodología de *k*-diferencias en el subperíodo de crisis (2008-2011). Además, durante ese subperíodo, la ventaja comparativa de utilizar contratos *near-month* es, en general, menor que la de los otros períodos.

Respecto a (1), en algunas muestras se obtiene que las *hedge ratios* son mayores para los contratos con madurez cercana que para los de madurez distante; sin embargo, para otros casos la relación se invierte. Por otro lado, que las *hedge ratios* sean mayores para contratos de mayor vencimiento es consistente con las ideas de Samuelson (1965) y los resultados de Ripple & Moosa (2007), Anderson (1985), Milonas (1986), entre otros. Pero se encuentran

casos en los que la varianza de los retornos de un tipo de contrato es mayor y la *hedge ratio* también es mayor, lo cual no concuerda con el efecto Samuelson.

Los resultados (2) y (3) se explican por los altos coeficientes de correlación y la fuerte dependencia de estos respecto a la efectividad de la cobertura. Es decir, los contratos que reducen de manera más efectiva la variabilidad están acompañados de una mayor correlación con los retornos *spot*, lo cual indica que esta correlación es el principal determinante de la eficiencia de la cobertura. En el único caso atípico, los retornos de los precios de los contratos futuros de seis meses están más correlacionados con los retornos de los precios *spot* que los contratos futuros de *near-month*. Este resultado se obtiene para el oro con diferencias de seis meses, durante el subperíodo de crisis, cuando las primeras diferencias son más volátiles («ruidosas»), mientras que las sextas diferencias son más suaves y permiten observar mejor los resultados para este caso atípico.

La evidencia acerca de la relación entre la correlación y la efectividad de la cobertura ha sido provista por Garbade & Silber (1983) y citada por Ripple & Moosa (2007), quienes sostienen que la capacidad del mercado de futuros para cumplir con su rol de transferencia de riesgo está medida por la elasticidad del arbitraje entre el *commodity* físico y el correspondiente contrato futuro, y esta elasticidad determina la correlación entre los cambios en los precios respectivos. A mayor elasticidad, más rápido es el alineamiento entre el mercado *spot* y el mercado de futuros, produciendo cambios en los precios y retornos (futuros y *spot*) altamente correlacionados, que facilitan la función de transferencia de riesgo y, por ende, la efectividad de la cobertura. Ripple & Moosa (2007) profundizan esta idea y demuestran que se requiere una correlación relativamente alta para que los coeficientes de ratio de varianzas sean estadísticamente significativos.

Finalmente, la atención se centra en los retornos. En el anexo 10, se observan el retorno promedio geométrico mensual y el retorno acumulado para el oro y el cobre durante el período total analizado (2004-2017). Allí, a fin de evaluar el impacto de los costos de transacción, también se incluye como variable *proxy* de estos al *spread* o diferencial compra-venta (*bid-ask*). Los resultados para el oro son un 0,0769% de retorno mensual (13,7070% acumulado) y un 0,0244% de retorno mensual (4,1607% acumulado), utilizando contratos *near-month* y de seis meses respectivamente. Mientras que los respectivos resultados para el cobre son un 0,0205% de retorno mensual (2,6205% acumulado) y un 0,0085% (1,4228% acumulado). Se observa que, en ambos casos, los retornos son mayores utilizando contratos de vencimiento cercano.

Al incluirse el *spread* en ambos tipos de contratos, para el oro se obtiene una tasa mensual promedio geométrico de 0,0620% (10,9091% acumulado) y 0,0215% (3,6521% acumulado), utilizando contratos *near-month* y de seis meses respectivamente. Se observa que los retornos disminuyen para este metal; sin embargo, ambos retornos siguen siendo positivos y la relación se mantiene, pues los contratos *near-month* siguen siendo más rentables. Como es de esperarse, los retornos utilizando contratos *near-month* se reducen en mayor proporción (2,8 puntos porcentuales) que los de contratos de seis meses (0,5 puntos porcentuales). En el caso del cobre, al incluirse el *spread* se obtienen retornos mensuales promedio geométrico de 0,0013% (0,2179% acumulado) y de 0,0005% (0,0838% acumulado), utilizando contratos *near-month* y de seis meses respectivamente. Los resultados para este metal son congruentes con los del oro.

Sin embargo, es importante mencionar que, en la práctica, los valores *spread* son distintos según el momento exacto de la transacción. La presente investigación tuvo que trabajar con los precios compra-venta al cierre del día, debido a que el acceso a datos a lo largo del día es restringido. Pero, pese a esta imprecisión, se ha realizado una aproximación a los costos de transacción que aporta luces sobre el factor retornos en la decisión de cobertura.

## 6. Conclusiones

En una economía global, el uso de instrumentos financieros es esencial para que los participantes del mercado se mantengan competitivos. A pesar de la gran ventaja que significaría para el Perú el desarrollo de un mercado de derivados centralizado, este ha sido dificultado por el poco conocimiento sobre dicho mercado que hay en empresas, organismos y agentes individuales del país. Por este motivo, la presente investigación ha buscado analizar el imprescindible ámbito de la cobertura, enfocándose en los contratos de oro y cobre, dada la importancia de estos metales para la economía peruana.

El principal aporte metodológico de esta investigación reside en haber analizado la cobertura provista por esos contratos desde una doble perspectiva: de riesgo y de retornos. Pocos estudios analizan la relación entre el vencimiento de los contratos utilizados para la cobertura y la eficiencia de esta en términos de reducción del riesgo. A diferencia de lo que se esperaría según la teoría de mercados eficientes, que supone agentes indiferentes entre cubrirse con contratos de menor vencimiento o de mayor vencimiento para un mismo período de tiempo (sin considerar costos de transacción), los resultados de esta investigación demuestran que la cobertura es más eficiente si se cubre

con sucesivos contratos de vencimiento cercano, durante el período de cobertura deseado. Y también demuestran que, cuando se incorporan los retornos mediante el *spread* como un *proxy* de los costos de transacción, los contratos de vencimiento cercano continúan siendo preferibles.

Como prueba de robustez, se procesaron los datos en primeras diferencias y en diferencias de seis meses. Los respectivos resultados comprueban que, si bien la cobertura utilizando contratos *near-month* y la cobertura utilizando contratos de seis meses (que calzan con el período de cobertura) son efectivas ambas, es mayor la efectividad de la cobertura provista por contratos *near-month*. La excepción ocurrió en el subperíodo de crisis financiera (2008-2011), debido al contexto de incertidumbre económica entonces imperante. En ese contexto de crisis, la mayor correlación que usualmente tienen los precios de contratos *near-month* con los precios *spot* se alteró y sucedió lo opuesto en el caso del oro: una mayor correlación entre los precios de contratos con vencimiento de seis meses y los precios *spot*; por lo cual, estos contratos de mayor vencimiento brindaron una cobertura más eficiente en términos de reducción de la volatilidad del portafolio.

Y la mayor efectividad de la cobertura con contratos de vencimiento cercano fue confirmada por el análisis de los retornos, el cual fue realizado, dado el indudable impacto de los costos de transacción en las estrategias de cobertura, incluyendo el diferencial compra-venta pactado al final del día como un *proxy* de esos costos. Tras incluirlos, los resultados muestran que los contratos de vencimiento cercano siguen siendo preferibles desde una perspectiva de rentabilidad, pese a que dichos costos reducen los retornos obtenidos a partir de contratos con menor vencimiento en mayor proporción que los retornos obtenidos con contratos de vencimiento más largo. Pero esta estimación, si bien reafirma la relevancia de los costos de transacción en las decisiones financieras, adolece de cierta imprecisión porque no se pudo contar con datos sobre todas las transacciones realizadas durante el día y los precios a los que fueron pactadas cada una. De contar con esos datos, investigaciones futuras podrán obtener resultados más precisos sobre el impacto de los costos de transacción.

## 7. Referencias

- Anderson, R. W. (1985). Some determinants of the volatility of futures prices. *Journal of Futures Market*, 5(3), 331-348.
- Antezana, D., Minaya, S., & Torrejón, J. (2013). Hacia una cultura de cobertura financiera en el Perú: estudio de la situación de los instrumentos derivados y la propuesta de un mercado de futuros. *Cuaderno de Investigación de Estudiantes*, 1, 7-38. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- BCRP (Banco Central de Reserva del Perú). (22 de marzo de 2018). *Resumen informativo semanal 11-08*. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Nota-Semanal/2018/resumen-informativo-11-2018.pdf>
- Burga, V. (2016). Los riesgos del sector minero para el 2017. *Rumbo Minero: Minería & Energía*, 99 (diciembre), 18-21.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Chen, S.-S., Lee, C.-F., & Shrestha, K. (2003). Futures hedge ratios: A review. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 43, 433-465.
- Chen, S.-S., Lee, C.-F., & Shrestha, K. (2004). An empirical analysis of the relationship between the hedge ratio and hedging horizon: A simultaneous estimation of the short and long run hedge ratios. *Journal of Futures Markets*, 24(4), 359-386.
- Chung, K. H., & Zhang, H. (2014). A simple approximation of intraday spreads using daily data. *Journal of Financial Markets*, 17(1), 94-120.
- Corwin, S. A., & Schultz, P. (2012). A simple way to estimate bid-ask spreads from daily high and low prices. *Journal of Finance*, 67(2), 719-760.
- Demsetz, H. (1968). The cost of transacting. *Quarterly Journal of Economics*, 82(1), 33-53.
- Dewally, M., & Marriot, L. (2008). Effective base metal hedging: The optimal hedge ratio and hedging horizon. *Journal of Risk and Financial Management*, 1(1), 41-76.
- Ederington, L. (1979). The hedging performance of the new futures markets. *Journal of Finance*, 34(1), 157-170.
- Fernández, M. (1996). *Gestión de riesgos con activos derivados*. Barcelona: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Fong, K. Y. L., Holden, C. W., & Trzcinka, C. (2017). What are the best liquidity proxies for global research? *Review of Finance*, 21(4), 1355-1401.
- Garbade, K. D., & Silber, W. L. (1983). Price movements and price discovery in futures and cash markets. *Review of Economics and Statistics*, 65(2), 289-297.
- Geppert, J. (1995). A statistical model for the relationship between futures contract hedging effectiveness and investment horizon length. *Journal of Futures Markets*, 15(5), 507-536.
- Glosten, L. R., & Harris, L. E. (1988). Estimating the components of the bid/ask spread. *Journal of financial Economics*, 21(1), 123-142.
- Holden, C. W. (2009). New low-frequency spread measures. *Journal of Financial Markets*, 12(4), 778-813.
- Hull, J. C. (2009). *Options, futures and other derivatives* (7.<sup>a</sup> ed.). Nueva Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Johnson, L. (1960). The theory of hedging and speculation in commodity futures. *Review of Economic Studies*, 27(3), 139-151.
- Jones, C. M. (2002). *A century of stock market liquidity and trading costs*. Recuperado de [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=313681](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=313681)
- Juhl, T., Kawaller, I. G., & Koch, P. D. (2012). The effect of the hedge horizon on optimal hedge size and effectiveness when prices are cointegrated. *Journal of Futures Markets*, 32(9), 837-876.

- Kallpa Securities SAB. (2018). *Guía de cobertura 2018: inversión y reconstrucción*. Recuperado de <https://www.kallpasab.com/reportes/Guia%20de%20Cobertura%202018%20-%20Kallpa%20SAB.pdf>
- Kenourgios, D., Samitas, A., & Drosos, P. (2008). Hedge ratio estimation and hedging effectiveness: The case of the S&P 500 stock index futures contract. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 9(1/2), 121-134.
- Khurelbaatar, B. (2015). *Hedge effectiveness in copper futures market: Case study for «Erdenet» Mining Co. Ltd. in Mongolia* (tesis de maestría), Charles University, Praga, República Checa. Recuperado de <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/125694/?lang=en>
- Lee, C.-F., Bubnys, E. L., & Lin, Y. (1987). Stock index futures hedge ratios: Test on horizon effects and functional form. *Advances in Futures and Options Research*, 2, 291-311.
- Lesmond, D., Ogden, J. P., & Trzcinka, C. (1999). A new estimate of transaction costs. *Review of Financial Studies*, 12(5), 1113-1141.
- Locke, P., & Venkatesh, P. (1997). Futures market transaction costs. *Journal of Futures Market*, 17(2), 229-245.
- Malliaris, A. G., & Urrutia, J. L. (1991). The impact of the lengths of estimation periods and hedging horizons on the effectiveness of a hedge: Evidence from foreign currency futures. *Journal of Futures Market*, 11(3), 271-289.
- Miffre, J. (2004). Conditional OLS minimum variance hedge ratios. *Journal of Future Markets*, 24(10), 945-964.
- Milonas, N. T. (1986). Price variability and the maturity effect in futures markets. *Journal of Future Markets*, 6(3), 443-460.
- Myers, R., & Thompson, S. (1989). Generalized optimal hedge ratio estimation. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(4), 858-868.
- Pindyck, R. (2004). Volatility and commodity price dynamics. *Journal of Futures Markets*, 24(11), 1029-1047.
- Ripple, R. D., & Moosa, I. A. (2007). Hedging effectiveness and futures contract maturity: The case of Nymex crude oil futures. *Applied Financial Economics*, 17(9), 683-689.
- Roll, R. (1984). A simple implicit measure of the effective bid-ask spread in an efficient model. *Journal of Finance*, 39(4), 1127-1139.
- Samuelson, P. A. (1965). Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. *Industrial Management Review*, 6(2), 41-49.
- Smith, T., & Whaley, R. E. (1994). Estimating the effective bid/ask spread using time and sales data. *Journal of Futures Markets*, 14(4), 437-455.
- Stein, J. (1961). The simultaneous determination of spot and futures prices. *American Economic Review*, 51(5), 1015-1023.
- Tinic, S. M., & West, R. R. (1972). Competition and the pricing of dealer service in the over-the-counter stock market. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 7(3), 1707-1727.
- Wang, G., Yau, J., & Baptiste, T. (1997). Trading volume and transaction costs in futures markets. *Journal of Futures Markets*, 17(7), 757-780.

## Anexos

### Anexo 1: Simplificación de la ratio de varianza (VR) y de la reducción de varianza (VD)

$$VD = 1 - \frac{\sigma^2(R_H)}{\sigma^2(R_U)}.$$

Dado que:

$$VR = \frac{\sigma^2(R_U)}{\sigma^2(R_H)},$$

$$VD = 1 - \frac{1}{VR}.$$

Además,  $\sigma^2(R_U) = \sigma_s^2$  y  $\sigma^2(R_H) = \sigma_s^2 + h^2 \sigma_f^2 - 2h\sigma_{s,f}$ . Donde  $\sigma_s^2$  y  $\sigma_f^2$  son las varianzas de  $\Delta s$  y  $\Delta f$ , respectivamente; y  $\sigma_{s,f}$ , su covarianza. Con lo cual,

$$VR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + h^2 \sigma_f^2 - 2h\sigma_{s,f}}.$$

Sea  $\rho = \frac{\sigma_{s,f}}{\sigma_s \sigma_f}$  el coeficiente de correlación de  $\Delta s$  y  $\Delta f$ , es cierto que  $\rho \sigma_{s,f} = \sigma_s \sigma_f$ .

Con lo cual:

$$h = \frac{\sigma_{s,f}}{\sigma_f^2} = \frac{\rho \sigma_s \sigma_f}{\sigma_f^2} = \rho \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \right)$$

Sustituyendo  $h$  y  $\sigma_{s,f}$  en la ecuación del VR:

$$VR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \rho^2 \left( \frac{\sigma_s^2}{\sigma_f^2} \right) \sigma_f^2 - 2\rho \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \right) \rho \sigma_s \sigma_f},$$

lo cual puede ser simplificado a

$$VR = \frac{1}{1 - \rho^2}.$$

Por lo tanto,

$$VD = 1 - \frac{1}{VR} = \rho^2$$

**Anexo 2: Hedge ratios y efectividad (primeras diferencias):  
período  
total (2004-2017)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,974381	0,936239	0,977624	0,950028
Correlación con <i>spot</i>	0,997053	0,977578	0,986810	0,964979
Varianza del <i>spot</i>	0,000497	0,000497	0,001254	0,001254
Varianza del futuro	0,000521	0,000542	0,001278	0,001294
Varianza del portafolio	0,00000293	0,000022	0,0000329	0,0000863
VR	169,8932*	22,55271*	38,15936	14,53169
VD	0,994114 *	0,955659	0,973794	0,931185
$VR_{6m/nm}$	7,508532 *	-	2,623100%	

Nota. \* Estadísticamente significativo al 5%.

**Anexo 3: Hedge ratios y efectividad (diferencias de seis meses):  
período total (2004-2017)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	1,009765	0,989316	0,989954	0,999365
Correlación con <i>spot</i>	0,996464	0,994110	0,994671	0,994146
Varianza del <i>spot</i>	0,001983	0,001983	0,009729	0,009729
Varianza del futuro	0,001932	0,002003	0,009822	0,009628
Varianza del portafolio	0,0000140	0,0000233	0,000103	0,000134
VR	141,6690*	85,14427*	94,08148*	72,60448*
VD	0,992941*	0,988255	0,989371	0,988327
$VR_{6m/nm}$	1,664286*	-	1,300970*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 4: Hedge ratios y efectividad (primeras diferencias):  
subperíodo I (2004-2007)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,976380	0,802506	0,974956	0,941428
Correlación con <i>spot</i>	0,996399	0,932142	0,978971	0,938093
Varianza del <i>spot</i>	0,000337	0,000337	0,001158	0,001158
Varianza del futuro	0,000351	0,000455	0,001168	0,001150
Varianza del portafolio	0,0000024	0,0000442	0,0000482	0,000139
VR	139,1082*	7,627104*	24,02988*	8,334615*
VD	0,992811	0,868889	0,958385	0,880018
$VR_{6m/nm}$	18,416667*	-	2,883817*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 5: Hedge ratios y efectividad (diferencias de seis meses):  
subperíodo I (2004-2007)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	1,002558	0,955773	0,928027	1,007077
Correlación con <i>spot</i>	0,996877	0,979994	0,988801	0,982634
Varianza del <i>spot</i>	0,001548	0,001548	0,006905	0,006905
Varianza del futuro	0,001531	0,001628	0,007839	0,006574
Varianza del portafolio	0,0000097	0,0000613	0,000154	0,000238
VR	160,3662*	25,24548*	44,89814*	29,04353*
VD	0,993764	0,960389	0,977727	0,965569
$VR_{6m/nm}$	6,319588*	-	1,545455*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 6: Hedge ratios y efectividad (primeras diferencias):  
subperíodo II (2008-2011)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,962264	0,984399	0,990337	0,961395
Correlación con <i>spot</i>	0,998088	0,995562	0,989525	0,973764
Varianza del <i>spot</i>	0,000791	0,000791	0,002350	0,002350
Varianza del futuro	0,000851	0,000809	0,002347	0,002411
Varianza del portafolio	0,000003	0,000007	0,000049	0,000122
VR	261,7200*	112,9264*	47,98188*	19,31136*
VD	0,996179	0,991145	0,979159	0,948217
$VR_{6m/nm}$	2,333333*	-	2,489796*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 7: Hedge ratios y efectividad (diferencias de seis meses):  
subperíodo II (2008-2011)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,978150	1,002198	1,031147	1,006406
Correlación con <i>spot</i>	0,997205	0,998270	0,998809	0,997500
Varianza del <i>spot</i>	0,001764	0,001764	0,021897	0,021897
Varianza del futuro	0,001833	0,001750	0,020545	0,021511
Varianza del portafolio	0,0000099	0,0000061	0,0000521	0,000109
VR	179,1103*	289,2343*	419,8965*	200,2680*
VD	0,994417	0,996543	0,997618	0,995007
$VR_{6m/nm}$	0,616162	-	2,092131*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 8: Hedge ratios y efectividad (primeras diferencias):  
subperíodo III (2012-2017)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,981382	0,965904	0,959772	0,930242
Correlación con <i>spot</i>	0,997052	0,985811	0,990445	0,974481
Varianza del <i>spot</i>	0,000374	0,000374	0,000549	0,000549
Varianza del futuro	0,000387	0,000390	0,000585	0,000603
Varianza del portafolio	0,0000022	0,0000106	0,0000104	0,0000277
VR	169,8586*	35,49098*	52,58146*	19,84676*
VD	0,994113	0,971824	0,980982	0,949614
$VR_{6m/nm}$	4,818182*	-	2,663462*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 9: Hedge ratios y efectividad (diferencias de seis meses):  
subperíodo III (2012-2017)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
<i>Hedge ratio</i>	0,995579	0,990205	0,978616	0,951749
Correlación con <i>spot</i>	0,999065	0,996185	0,994382	0,991894
Varianza del <i>spot</i>	0,001364	0,001364	0,002184	0,002184
Varianza del futuro	0,001373	0,001380	0,002255	0,002372
Varianza del portafolio	0,0000026	0,0000104	0,0000245	0,0000353
VR	534,9955*	131,3136*	89,24404*	61,93085*
VD	0,998131	0,992385	0,988795	0,983853
$VR_{6m/nm}$	4,000000*	-	1,440816*	-

Notas. \* Estadísticamente significativo al 5%. El valor crítico para el estadístico  $F$  es 1,29183.

**Anexo 10: Retornos acumulados y retornos promedio geométricos mensuales (2004-2017)**

	Oro		Cobre	
	<i>Near-month</i>	Seis meses	<i>Near-month</i>	Seis meses
Retorno acumulado	13,7070%	4,1607%	2,6205%	1,4228%
Retorno mensual	0,0769%	0,0244%	0,0205%	0,0085%
Retorno acumulado con <i>spread</i>	10,9091%	3,6521%	0,2179%	0,0838%
Retorno mensual con <i>spread</i>	0,0620%	0,0215%	0,0013%	0,0005%