

Proyección de precio de largo plazo del cobre: un enfoque metodológico crítico

Cintia Roa

COCHILCO, Santiago, Chile.

RESUMEN: El precio de los commodities ha experimentado cambios relevantes de tendencia en la última década, inducidos básicamente por los ciclos económicos y la situación particular de países que tienen un rol central, desde la perspectiva de oferta como de demanda de metales industriales. Dado esto ha cobrado mayor importancia la revisión de metodologías para proyectar el precio del cobre. El objetivo del presente estudio es comparar las proyecciones de las dos metodologías más utilizadas en la industria, realizadas en dos momentos distintos del tiempo, separadas por sólo cinco meses. De este modo lograr entender cada metodología, analizar su sensibilidad y de qué variables dependen la generación de incertidumbre al interior de cada una. Se encuentra mayor sensibilidad en la metodología Precio- Incentivo, con un cambio en la proyección de 13%, mientras tanto, el modelo econométrico presenta una variación en su resultado de 1.3%.

KEYWORDS: Copper price, forecast, commodities.

1. INTRODUCCIÓN

El precio del cobre ha experimentado cambios relevantes de tendencia en la última década, y sus determinantes no han sido sólo los “fundamentales” de la industria, como lo son la evolución de la producción, el consumo y los stocks, sino que también se ha visto fuertemente influenciado por ciclos económicos y variables de mercado financiero, Marshall, I., & Silva, E. (2002).

Luego del súper ciclo, periodo en que el precio del cobre incluso superó los 4 US\$/lb, teniendo promedios anuales durante el periodo sobre los 3 US\$/lb, Landerretche Moreno, Ó., & Silva Ramos, E. (2016), éste se redujo fuertemente con la crisis subprime del año 2008, llegando a cotizarse por debajo los 2 US\$/lb. Posteriormente, se observó un periodo de recuperación entre los años 2010 y 2015. A partir de entonces, nuevamente inició un ciclo de depreciación asociado al deterioro del crecimiento económico de China, al inicio de la tensión comercial entre Estados Unidos y el país asiático, y la pandemia Covid-19, que ha puesto en riesgo las perspectivas de crecimiento económico global.

Durante 2019 el precio spot del cobre se redujo sistemáticamente, pero se mantuvo fluctuando dentro un rango estrecho; entre US\$ 2,60 – US\$ 2,75 por libra.

En la industria se han utilizado principalmente dos enfoques metodológicos para determinar

precio del cobre de largo plazo: modelo de precio incentivo [Marshall, I., & Silva, E. (2002)] y modelo econométrico estructural [De Gregorio et al. (2005) y López, E., & Riquelme, V. (2010)]. Aunque desde la perspectiva teórica, ambas metodologías generan precios de largo plazo técnicamente consistentes con el precio del metal, éstos no necesariamente son coincidentes, debido al inherente uso de supuestos de largo plazo disímiles.

En este artículo se busca mediante la estimación en dos momentos distintos del tiempo, separados en este caso por 5 meses, comparar a ambos modelos analizando la estabilidad de sus proyecciones (considerando que independiente de que las condiciones económicas actuales puedan variar, el precio de largo plazo no debería tener grandes variaciones, salvo grandes excepciones, como guerras o tragedias mundiales por lo que se tenga que actualizar completamente la proyección). Se definieron cinco meses debido a la información disponible a la fecha, y a que se consideró que es un tiempo en que por un lado pueden existir variaciones en cuanto a la situación económica mundial y de la industria, por otro lado, sigue siendo un tiempo acotado y no modifica el año objetivo. Así, determinar de qué variables depende la generación de incertidumbre al interior de cada metodología.

En las siguientes secciones se presenta una explicación de ambas metodologías de proyección del precio del cobre en conjunto con la comparación de los resultados de ambas en dos periodos distintos de tiempo, para luego finalizar con una conclusión y crítica a las metodologías.

2. MODELO PRECIO INCENTIVO

2.1 Metodología

La metodología Precio – Incentivo ha sido ampliamente utilizada en la industria minera para estimar el precio de largo plazo del cobre a partir de su estructura de mercado (Jara, J. J., et al., 2016). Su lógica radica en identificar el precio del proyecto marginal que permite el balance de mercado a un año determinado, dada la proyección ex antes de la demanda por cobre para dicho año.

La metodología Precio-Incentivo utilizada en esta sección es la expuesta por Cochilco y disponible de manera pública, Cochilco (2013), la cual se basa fundamentalmente en un balance de mercado de largo plazo. De este modo, el precio de largo plazo es aquel que incentiva la entrada del proyecto marginal que permita que oferta y demanda de cobre se igualen en el año t. Hay consenso dentro de la industria que el periodo debería ser entre 5 a 10 años, ya que se ajusta al ciclo de desarrollo de los proyectos, por la flexibilidad de ingreso o egreso de operaciones y proyectos de cobre, Marshall, I., & Silva, E. (2002). En el presente análisis se estudia a cinco años, teniendo así, $t = 2024$.

Para ello, primero se calculan los flujos financieros (ingresos menos costos) anuales para cada proyecto. Posteriormente, determinar el precio mínimo que incentivaría su entrada al mercado, es decir, el precio que hace el VAN igual a cero, de este modo, cada proyecto tiene un precio incentivo individual. Luego, se ordenan de acuerdo con este precio individual de menor a mayor, y se suman a la producción base, es decir se construye una producción acumulada, con el fin de cerrar la brecha entre demanda y oferta. Finalmente, el precio de largo plazo es el precio individual del proyecto que hace el balance de mercado igual a cero en el año determinado, 2024 en este caso, es decir, el precio incentivo a nivel de industria será el precio incentivo del proyecto marginal, cuando no hay incentivos para entrar o salir. Se menciona como proyecto marginal ya que, a partir de este proyecto, se logra el balance de mercado, antes de él (ordenado por precio incentivo), se tiene una demanda mayor a la producción, así con la entrada de este proyecto marginal, se logra el balance.

Esta metodología que puede ser modelado por:

$$q_t^d = \bar{q}_t^d \tag{1}$$

$$q_t^s(P_t) = \bar{q}_t^s + \sum_{j=1}^{j=M} q_{j,t}^s(p_j) \tag{2}$$

$$s_t = 0 \tag{3}$$

$$s_t - s_{t-1} = q_t^s(P_t) - q_t^d \tag{4}$$

Tal que \bar{q}_t^d es la cantidad de cobre demandada esperada en “t”. P_t es el precio incentivo de largo plazo, \bar{q}_t^s la cantidad de cobre producido en “t” y p_j es el precio incentivo individual del proyecto j.

Donde la ecuación (1) establece una demanda por cobre exógena para el año “t”.

La ecuación (2) señala que la oferta de cobre está compuesta por un término fijo, el cual recoge la cantidad producida por las operaciones en curso más los proyectos altamente probables en el año 2024, denominada para estos efectos como producción base. Al valor anterior se adiciona un componente variable que recoge la sumatoria de la producción de los proyectos probables y posibles hasta el proyecto marginal “M”. Los proyectos probables son definidos como proyectos respaldados por un estudio de factibilidad completo, pero aún requiere financiamiento y/o permisos. Proyectos calificados como posibles, son proyectos en etapa inicial que son objeto de estudio de alcance, evaluación económica preliminar (PEA) o estudio de factibilidad preliminar (PFS).

La ecuación (3) representa la condición de estado estacionario o largo plazo, donde la acumulación de activos es igual a cero. Finalmente, la ecuación (4) representa el cierre de mercado, estableciendo el equilibrio entre consumo y producción.

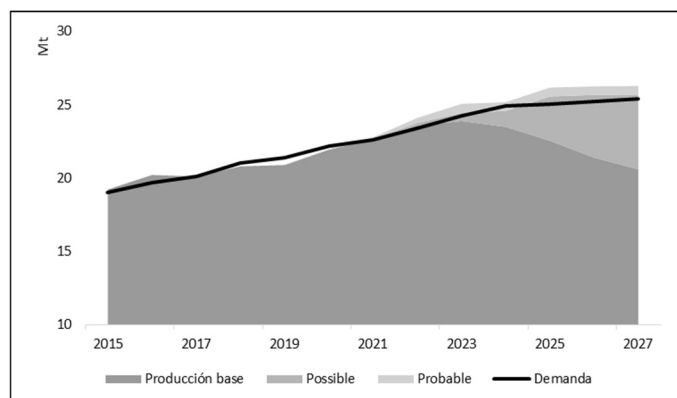


Figura 1: Modelo Precio Incentivo

2.2 Supuestos

Para la evaluación de los proyectos, se consideraron dos criterios. Primero, se fijó la tasa de descuento en 10% (la cual fue calculada a partir de la metodología del costo de capital promedio ponderado para la industria minera), con el fin de simplificar se utilizó una tasa de descuento mencionada constante, dicha tasa proporciona un punto de partida razonable y es un reflejo de lo que la industria minera utiliza para valorar las propiedades, Smith, L. D. (2002). En segundo lugar, para el precio de los subproductos oro y plata fueron ocupadas las proyecciones realizadas por Cochilco. Para el precio del oro se basan en el trabajo Levin, E.J. y Wright, R.E. (2006) en un modelo ARDL similar al precio del cobre. En el caso del precio de la plata, siguiendo con lo encontrado por Liu, G. D., & Su, C. W. (2019), Baur, D. G., & Tran, D. T. (2014) y Eryigit, M. (2017), donde se muestra una causalidad del oro a la plata, se estima un modelo de cointegración ARDL donde se controla principalmente por el precio del oro. El precio de otros metales como el molibdeno fue extraído de Energy & Metals Concensus, estos precios fueron actualizados al realizar la segunda estimación.

2.3 Datos

La proyección de la producción de cobre para el periodo 2020 a 2024 fue realizada a partir de información de Wood Mackenzie. Esta proyección difiere en ambos periodos del tiempo; para la primera etapa (con información hasta septiembre) la proyección para el año 2024 es de 23.5 Mton, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2%, mientras que para la segunda (con información actualizada en enero, cinco meses después) es de 23.6 Mton, con una tasa de 2.1%. En la Tabla 1 se muestran ambas proyecciones,

siendo “1° est” la proyección de producción de cobre para la primera estimación y “2° est” la proyección para la segunda estimación que se realiza. Como se observa, la proyección de producción de cobre mina se mantiene relativamente estable, teniendo variaciones principalmente para el año 2020, dada la actualización que se realiza.

Tabla 1. Proyección producción cobre mina (Mton).

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1°est	20.8	20.9	21.9	22.7	23.6	23.9	23.5
Δ		0.1	1.0	0.7	0.9	0.3	-0.4
2°est	20.8	20.9	22.1	22.7	23.6	24.0	23.6
Δ		0.1	1.2	0.6	0.9	0.4	-0.4

Por otro lado, la proyección de demanda de cobre también difiere en ambos periodos, probablemente las modificaciones que se hacen en el corto plazo afectan finalmente, aunque sea de manera leve, la proyección de largo plazo. Para el año 2024 en la primera estimación (septiembre) equivale a 24.9 Mton, con una tasa de crecimiento anual (2018-2024) de 2.88%, corrigiendo por scrap, en la segunda instancia (enero) la proyección equivale al mismo monto aproximado para ese año, como se puede observar en la Tabla 2, con una tasa de 2.89%.

Tabla 2. Proyección demanda primaria de cobre.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1°est	21.0	21.4	22.2	22.6	23.4	24.2	24.9
Δ		0.4	0.8	0.4	0.8	0.9	0.7
2°est	21.0	21.0	22.1	22.7	23.5	24.2	24.9
Δ		-0.0	1.1	0.6	0.8	0.8	0.7

Dado lo anterior, la brecha a cubrir por el subconjunto de proyectos marginales, es decir, la diferencia entre la demanda y oferta proyectada para el año 2024, es para la primera estimación de 1.4 Mton, mientras que en la segunda es de 1.3 Mton.

Para la proyección, se utilizó la base de datos de Wood Mackenzie, proyectos cuyo estado es “pre-development”, y que son calificados como proyectos altamente probables, probables y posibles. Esta base fue previamente analizada y, en algunos casos, actualizada con información pública sobre cambios en plazo y niveles productivos de proyectos específicos. La misma fuente Wood Mackenzie cuenta con datos más

actualizados de forma trimestral, que no siempre se ve reflejada en la ficha de cada proyecto, es por esto que se contrasta información y se actualiza, además con otras fuentes como S&P, con el fin de tener una cartera de proyectos lo más cercana a la realidad posible. Así, algunos proyectos atrasaron su puesta en marcha y en otros se modificó la producción proyectada. De este modo, hay dos carteras de proyectos, una para cada estimación, actualizadas hasta la fecha en que se realizó cada proyección.

2.4 Proyecciones con metodología Precio-Incentivo

De esta forma, se estima el flujo anual para cada proyecto, luego se calcula el “Precio Incentivo” para cada proyecto, es decir el precio que hace el VAN cero. Posteriormente, se ordenan los proyectos según el precio incentivo de menor a mayor, y se construye una producción acumulada para el año 2024. Finalmente, se llega al proyecto marginal que satisface la demanda de cobre mina, es decir que lleva la brecha a cero (entre oferta y demanda), siendo este precio el precio incentivo de largo plazo.

2.5 Resultados con metodología Precio-Incentivo

Según la estimación realizada con información obtenida hasta septiembre del año 2019, para el año 2024, se espera un precio incentivo nominal de 349 cUS\$/lb, esto expresado en moneda de 2020, define un precio incentivo de 318 cUS\$/lb (se utilizó la tasa de inflación de Estados Unidos reportada por el FMI, durante el periodo tiene una tasa promedio anual de 2.3%). Mientras que, según la estimación realizada con información hasta enero del año 2020, cinco meses después, el precio incentivo nominal es de 302 cUS\$/lb, que expresado en moneda del año 2020 es de 275.8 cUS\$/lb. Es decir, una baja de cUS\$ 42,2/libra. Esto se debe tanto a cambios en la cartera de proyectos (el precio spot podría influenciar retrasos de proyectos, por ejemplo), como a cambios en la brecha a cubrir (demanda menos la producción), el déficit disminuyó en 97 Mton, es decir, un 6.9%.

3. MODELO ECONOMETRICO

3.1 Modelo Teórico-Estructural

Considerando los aportes de Lord (1991), López, E., & Riquelme, V. (2010) y De Gregorio et al. (2005) en relación con los modelos estructurales relacionados al mercado del cobre, se ha desarrollado la metodología que se expone a continuación.

La principal ventaja que posee este modelo estructural es que recoge las dinámicas tanto de corto plazo, relacionadas al mundo financiero, como las dinámicas de largo plazo relacionadas a la actividad real. De esta forma, se establece que el precio del cobre estará dado por el equilibrio entre las fuerzas de demanda y oferta en el largo plazo, mientras que los desajustes se traducen en existencia de inventarios, lo cual se evidencia de forma algebraica en el siguiente sistema de ecuaciones:

$$q_t^d = \alpha_0 - \alpha_1 p_t + \alpha_2 ipi_t - \alpha_3 tcr_t + u_t, \quad (5)$$

$$q_t^s = \beta_0 - \beta_1 p_t + v_t, \quad (6)$$

$$stocks_t = \gamma_0 - \gamma_1 r_t + \gamma_2 vix_t + w_t, \quad (7)$$

$$stocks_t - stocks_{t-1} = q_t^s - q_t^d, \quad (8)$$

Donde, la ecuación (5) refleja la demanda por cobre, la ecuación (6) da cuenta de la oferta de cobre, la ecuación (7) muestra la dinámica existente con respecto a los inventarios de cobre y la ecuación (8) representa la ecuación de cierre o equilibrio del mercado.

Así, podemos ver que la demanda por cobre (q_t^d) tendrá una relación negativa con el precio del metal (p_t) y con el tipo de cambio real (tcr_t), mientras que la producción industrial (ipi_t) de los principales países consumidores de cobre tendrá un impacto positivo sobre la demanda de cobre. Por el lado de la oferta, la producción de cobre (q_t^s) tiene una relación positiva con el precio corriente (p_t) del metal.

Con respecto al nivel de inventarios ($stocks_t$), éstos varían proporcionalmente a la tasa de interés real (r_t), dado que esta variable representa el costo de oportunidad de mantener inventarios de cobre y, por lo tanto, aumentos en la tasa de interés implican una disminución en la cantidad

de stock transable. Al mismo tiempo, los inventarios reaccionan positivamente al índice “VIX”, el cual es una variable de carácter financiero, que muestra la percepción de riesgo por parte de los inversionistas. El VIX es relevante para el precio de las materias primas debido a que cuando aumenta la volatilidad en los mercados financieros, la aversión al riesgo de los inversionistas hace que éstos se muevan desde los mercados de renta variable y “commodities” a mercados de renta fija, lo que incrementa los inventarios, así su inclusión se justifica ya que los movimientos de corto plazo del precio guardan relación con el carácter de activo financiero del cobre, López, E., Muñoz, E., & Riquelme, V. (2011). El índice VIX al medir la volatilidad esperada sobre el índice accionario S&P y ser un proxy del grado de aversión al riesgo prevaeciente en el mercado; se espera afecte negativamente al precio de la materia prima, razón por la cual suele ser incorporado en modelos econométricos de commodities, Guzmán, J. I., & Silva, E. (2018).

Finalmente, se establece que el mercado debe estar balanceado siempre, en términos de inventarios en el corto plazo y de flujos en el largo plazo, tal como lo indica la ecuación (8).

3.2 Set de datos

Para la estimación y posterior proyección en base al modelo estructural para el precio del cobre, se utilizaron datos mensuales, partiendo en enero de 2000. Las series de tiempo de las variables participantes en el modelo se obtuvieron desde distintas fuentes. En los casos que fue necesario, se homogenizaron para asegurar la consistencia de la base en su conjunto (como es el caso del Índice de Producción Industrial).

Así, la serie del precio real de cobre (“p”) se obtuvo desde la bolsa de metales de Londres (LME) y luego es deflactado utilizando el índice de Precios al por Mayor de Estados Unidos (PPI, all commodities) obtenido de la base de datos de la FED. La variable utilizada para capturar el consumo real de cobre (manufacturero-industrial) fue un índice de producción industrial (“IPI”), construido a partir de las variaciones del PMI (Purchasing managers index) chino y el índice de producción industrial y manufacturera de los otros principales países demandantes de cobre, estos son: Estados Unidos, Japón, y los países de la Unión Europea. Así se construye el “IPI” a partir de estas variables de cada país

ponderadas por la participación en el consumo de cobre de cada economía.

Los inventarios (“stocks”) corresponden a la suma de los inventarios mantenidos en la Bolsa de Metales de Londres (LME), en la Bolsa de commodities de Nueva York (Comex) y en la Bolsa de Shangai.

Como tipo de cambio real (“tcr”) se utilizó el índice del dólar ampliado (broad), el cual pondera los valores de las monedas de los principales socios comerciales de Estados Unidos respecto del dólar. La serie fue obtenida a partir de la base de datos proporcionada por la Reserva Federal de Estados Unidos (FED).

La tasa de interés utilizada como proxy de la tasa de interés real fue la de los bonos del tesoro estadounidense a 10 años, obtenida desde la base de datos de la Reserva Federal de Estados Unidos. Además, como proxy de la percepción de riesgo por parte de los inversionistas se incorporó el índice de la volatilidad esperada sobre el índice bursátil S&P (“vix”), el cual refleja el grado de aversión al riesgo que se registra en los mercados, esta serie fue obtenida a partir de la base de datos proporcionada por la Reserva Federal de Estados Unidos (FED).

Como ya fue mencionado, se hicieron dos estimaciones en momentos diferentes del tiempo con una diferencia de cinco meses, por lo que para la primera estimación los datos considerados fueron hasta septiembre del año 2019, y para la segunda estimación hasta enero 2020.

3.3 Metodología

Es importante considerar que el modelo tendrá sentido económico sí y sólo sí se logra establecer una relación de largo plazo entre las variables. Para lo cual es necesario testear: la estacionariedad y posteriormente la cointegración.

Como se está analizando series en niveles, es necesario ver en primer lugar el nivel de integración de cada una (estacionariedad), para lo cual se utilizó el test de Dickey & Fuller Aumentado (ADF) con el fin de testear la presencia de raíces unitarias.

Todas las variables presentan raíz unitaria, es decir, no son estacionarias, a excepción de las variables “stocks” y el “vix” que son integradas de orden cero $I(0)$. Estos resultados nos indican que usar los test de cointegración usuales, como el de Engle-Granger (1987) o el de Phillips-Ouliaris (1990), no serían correctos. Esto implica que el mejor método a utilizar es el propuesto por

Pesaran y Shin (1998) y Pesaran, Shin y Smith (2001), que estima el modelo como un ARDL, ya que a diferencia de las técnicas ya mencionadas, este enfoque es apropiado para el análisis de relaciones de largo plazo y entre series de diferente orden de integración, como se da en este caso que se tienen series I(0) y I(1).

Partiendo del modelo estructural planteado en la sección 3.1, es posible llegar a un modelo de forma reducida, el cual puede ser estimado por distintos métodos econométricos dependiendo de los supuestos detrás del modelo. En este caso, como se menciona anteriormente, siguiendo a Pesaran y Shin (1998) y Pesaran, Shin y Smith (2001), el modelo ARDL puede ser expresado como un modelo de corrección de errores (ECM) cuando hay un vector de cointegración entre las variables subyacentes. El resultado re-parametrizado proporciona la dinámica a corto plazo y la relación a largo plazo de las variables (Nkoro, E., & Uko, A. K., 2016), ambas serán presentadas.

Las minúsculas representan el logaritmo natural de la variable.

Así, la ecuación a estimar es:

$$\Delta p_t = \alpha_0 - \gamma EC_{t-1} + \sum_{i=1} \alpha_2 \Delta p_{t-1} + \sum_{i=1} \beta_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \tag{9}$$

Donde x_{t-i} es un vector que contiene todas las variables dependientes definidas anteriormente, y EC_{t-1} es el término conocido como corrección de errores que se define como:

$$EC_t = p_t + \theta_1 ipi_t + \theta_2 tcr_t + \theta_3 stocks_{t-1} + \theta_4 R_t + \theta_5 vix_t \tag{10}$$

Dado que el objetivo de la estimación es conocer la relación de largo plazo, el interés principal está en el término de corrección de errores, ya que representa la solución del modelo reducido presentado en la sección anterior.

Mediante el bound test, que es el nuevo enfoque al problema de probar la existencia de una relación entre las variables cuando los regresores son estacionarios de tendencia o de primera diferencia, presentado por Pesaran, Shin y Smith (2001), se comprueba que existe cointegración, por lo que se evidencia que hay una relación de largo plazo entre las variables.

3.4 Resultados de la estimación

Los resultados de la ecuación de largo plazo de ambas estimaciones se muestran en la Tabla 3. Es importante notar que los coeficientes son significativos (excepto la tasa de interés), se muestran en línea con lo esperado, el modelo cointegra, es decir, tiene una relación de largo plazo y en su conjunto resulta significativo. Sumado a lo anterior, se destaca que los resultados de ambas ecuaciones son muy similares, sin tener ni cambios de signos, ni mayores diferencias en cuanto a la magnitud de cada coeficiente.

La producción industrial tiene un efecto positivo y significativo en el precio del cobre, coherente con la intuición dado que se espera que mayor producción industrial incremente la demanda por el metal, por lo que aumente el precio. Por otro lado, el tipo de cambio real, stocks y el VIX tienen efectos negativos y significativos sobre el precio del cobre. Primero los stocks, principal componente fundamental de la industria, a mayores stocks, menor precio.

El VIX tiene una relación positiva con los stocks en bolsa, por lo tanto, relación negativa con el precio del cobre. Por su parte, el tipo de cambio real tiene una relación negativa con el precio, esto se debe a que por ejemplo si el tipo de cambio real en Estados Unidos se deprecia, para un precio de cobre dado, en términos de bienes del resto del mundo se hará más barato, con lo cual habría un aumento de demanda de cobre y por ende aumento de precio. Por último, la tasa del bono del tesoro muestra un coeficiente negativo, pero no significativo.

Tabla 3. Ecuación de largo plazo precio del cobre.

Variable	1 estimación	2 estimación
log(IPI)	0.539979*** (0.151669)	0.534346*** (0.153139)
tasa de interés	-0.019567 (0.037992)	-0.017039 (0,037482)
log(tipo de cambio)	-1.608715*** (0.318642)	-1.65542*** (0,299947)
log(stocks)	-0.105098*** (0.039052)	-0.101743*** (0.038425)
log(vix)	-0.31724*** (0,10956)	-0.320968*** (0,109598)

*** p < 0,01 **p < 0,05 * p < 0,1
Std. Error en paréntesis

Adicionalmente, se presentan los resultados de los movimientos de corto plazo del precio del cobre, Tabla 4. Esto como ya fue mencionado, es

la re-parametrización del modelo, permitida en los modelos ARDL con el enfoque utilizado.

Tabla 4. Ecuación de corrección de errores estimación precio del cobre.

Variable	1 estimación	2 estimación
EC_{t-1}	-0.16454	-0.16527
Δp_{t-1}	0.32101	0.320384
Δipi_t	1.07738	1.087406
Δipi_{t-1}	0.64797	0.617076
Δr_t	0.04071	0.040759
Δtcr_t	-1.71266	-1.706878
Δtcr_{t-1}	0.65001	0.653897
$\Delta stocks_t$	-0.0221	-0.020218
$\Delta stocks_{t-1}$	-0.04729	-0.04365
$\Delta stocks_{t-2}$	0.07734	0.072827
D_{ciclo}	0.06901	0.069111
$const$	1.2354	1.274151

*** p < 0,01 **p < 0,05 * p < 0,1

El coeficiente asociado a la corrección de errores, EC_{t-1} , muestra que, ante un desvío con respecto a la relación de largo plazo, cada mes se corregirá un 16% de dicho desvío. Se agrega una variable dicotómica que toma valor 1 para los períodos entre marzo de 2006 y enero de 2012 para controlar por el peak del superciclo de los commodities, que muestra un valor positivo y significativo. Finalmente, el resto de los coeficientes se encuentran en línea con lo esperado excepto la tasa de los bonos del tesoro. Esta última, muestra un efecto positivo en la ecuación de largo plazo que puede estar capturando el efecto de las expectativas o percepción de la economía, en tanto las tasas largas tenderán a subir ante cambios positivos en las expectativas de la economía.

El grado del ajuste del modelo en ambas instancias se muestra en la Figura 2.

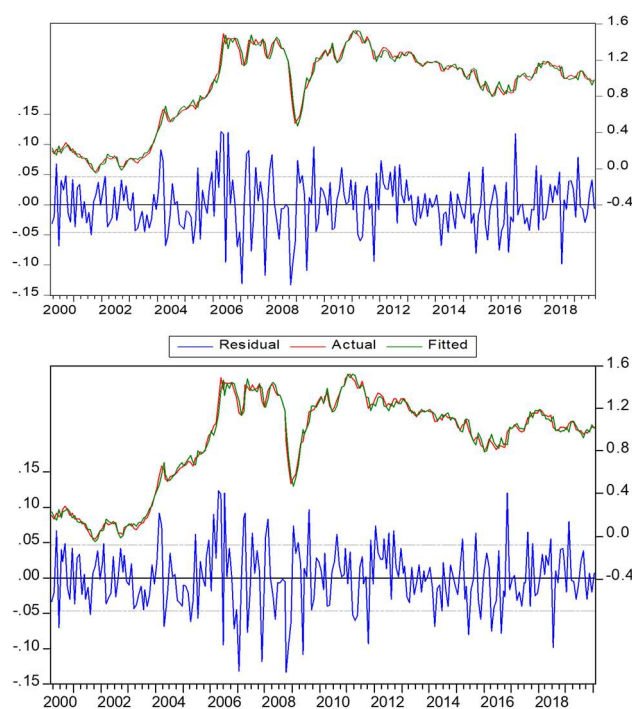


Figura 2: Ajuste del modelo estructural (de primera y segunda estimación, respectivamente)

3.5 Proyección con modelo econométrico

La estimación se hace con la información disponible a la fecha de octubre del año 2019 para la primera estimación y con la información disponible a febrero de 2020 para la segunda, de este modo, todas las variables, a excepción del índice de producción industrial de la Unión Europea, cuenta con información hasta septiembre del 2019 y enero del 2020, respectivamente. Para el caso del índice de Producción Industrial, la serie es hasta un mes antes que el resto de las variables en ambas estimaciones.

Las variables VIX y Stocks fueron proyectadas por procesos econométricos univariados de forma ARMA, ya que son variables estacionarias, por lo tanto, revierten la media. Los modelos escogidos fueron según el ajuste que tenían, para el caso de la variable VIX fue mediante un modelo ARMA(3,1) y para el caso de stocks fue un modelo ARMA(3,6). En la Figura 3, se muestran ambas proyecciones, evidenciando una notoria similitud.

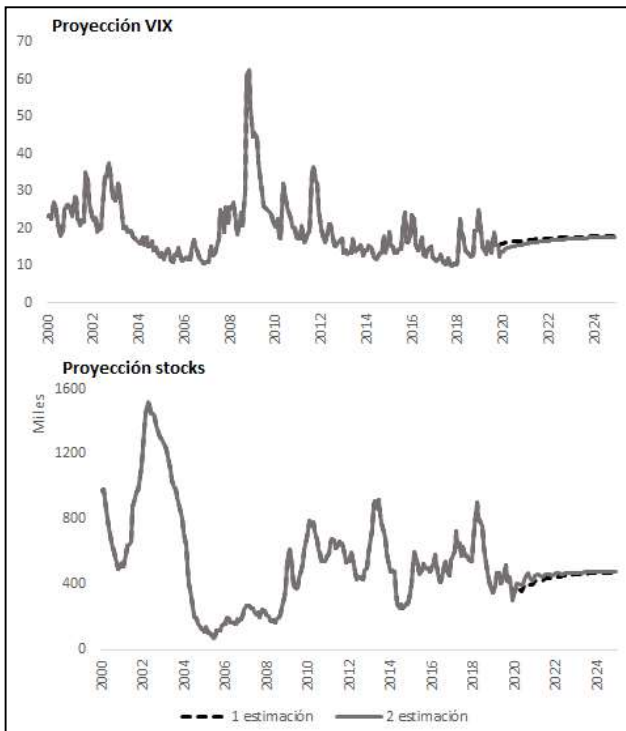


Figura 3: Proyección variables estacionarias

Las proyecciones de las variables tasa de interés y tipo de cambio se hicieron en base a artículos publicados por el FMI (proyecciones, estudio, tendencias esperadas), más estudios y análisis propios. Hay que considerar que, pese a que hay 5 meses de diferencia en la estimación, en este periodo hubo bastantes cambios que provocaron en grandes modificaciones para las proyecciones, al menos de corto plazo.



Figura 4: Proyección Tipo de Cambio Real



Figura 5: Proyección Tasa de Interés

El IPI se construyó considerando los crecimientos proyectados para el PIB de los países en cuestión por el FMI (International Monetary Fund 2019a, 2019b, 2019c, 2019d) más análisis propio. Hay que considerar que las tensiones comerciales han provocado débiles índices en cuanto a producción industrial, por lo que las proyecciones realizadas por el FMI durante el primer trimestre del año 2019 quedan muy por sobre el crecimiento que en la práctica ha sucedido los últimos meses del año, por este motivo las proyecciones de crecimiento debieron ser analizadas más a profundidad y actualizadas. Además, la pandemia conocida como Covid-19 redujo drásticamente el crecimiento proyectado para el mundo y principalmente los países más afectados, entre ellos China.

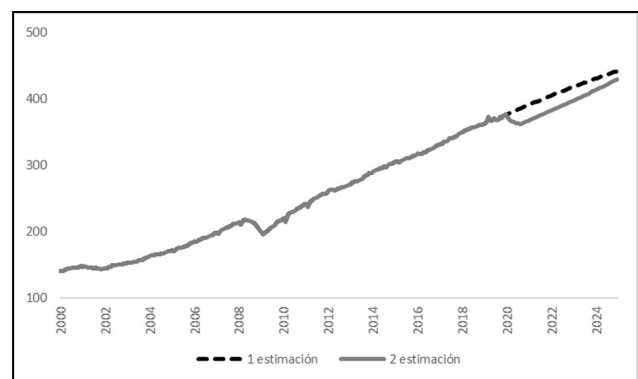


Figura 6: Proyección Índice de Producción Industrial

Los resultados de ambas estimaciones se ilustran en la Figura 7. Se observa que, con la proyección de la primera estimación, se esperaba que los precios observados durante los últimos meses se mantendrían en 2020, en torno a los 2.7 US\$/lb – 2.8 US\$/lb. Se esperaba que posteriormente el precio tuviera un alza continua pero leve, para el 2022, el precio esté por sobre la barrera de los 3 US\$/lb y en 2024 3.03 US\$/lb. Por su parte, en la segunda estimación los resultados fueron distintos principalmente para el corto y mediano plazo. Así, para el año 2020 se prevé un precio bajo los 2.6 US\$/lb para posteriormente comenzar una tendencia al alza, llegando el año 2024 a un promedio de 2.99US\$/lb. Hay que recordar que ambas proyecciones reflejan las condiciones de mercado del momento que fueron estimadas.

Tabla 7. Proyección precio del cobre.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1 est.	271.5	280.4	293.3	300.2	302.2	303.1
2 est.	271.5	258.7	272.5	280.4	290.3	299.2

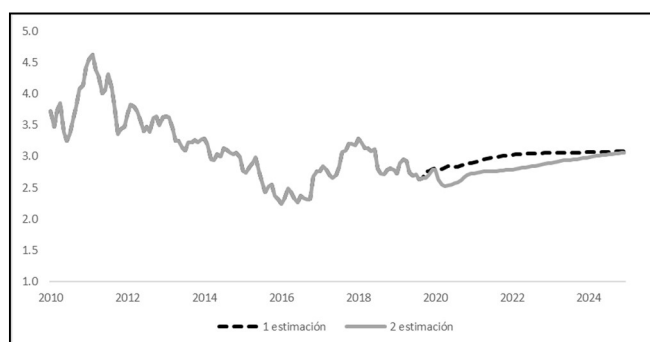


Figura 7: Proyección Precio del cobre

4. COMPARACIÓN AMBAS METODOLOGÍAS

En resumen, se tienen dos metodologías muy diferentes, pero ambas frecuentemente utilizadas en la industria. Por su parte, la metodología precio incentivo tiene la ventaja de mostrar una visión completa e intuitiva de la evolución y tendencia del mercado, con un análisis profundo de los proyectos que existen hoy en construcción o en carpeta. Su principal desventaja es que requiere contar con una gran cantidad de información, es decir, es necesario tener la estructura de costos y la inversión asociada a cada proyecto, desde la fase de estudios económicos o prefactibilidad a proyectos en construcción. Esta información es difícil de

obtener y más aún de verificar, y es esencial en el cálculo del precio.

La metodología precio incentivo es altamente sensible a modificaciones en la cartera de proyectos en desarrollo, como también a las modificaciones en la oferta o demanda (en la brecha a cubrir). El problema de esto último es que cuán sensible sea a cambios en la brecha depende de la cartera de proyectos y el precio de quiebre de éstos. Así, podría haber un cambio marginal en la brecha, y existir un cambio mayor en el precio incentivo, como podría haber un cambio importante en la brecha y no existir cambio en el precio incentivo, ya que el proyecto marginal alcanza a cubrir dicha brecha.

Esto ayuda a explicar los resultados de las dos estimaciones mostradas en la sección 2.4. En la primera estimación el resultado (nominal) fue de cUS\$348.9, mientras en una segunda estimación, sólo 5 meses después, fue de cUS\$302.5, es decir, un cambio de 46 centavos de dólar, un 13%. Hay que considerar, además, que el cambio en la producción base del año 2024 entre ambas estimaciones fue de un 0.49% y en la demanda de un 0.07%, por lo que la gran variación de la proyección se debería a cambios en proyectos o simplemente un “salto” (en este caso sería hacia atrás) en el proyecto marginal.

Otra crítica a la metodología de precio incentivo es que supone que el largo plazo es independiente del corto plazo, sin considerar que muchas de las decisiones de inversión o pre-inversión se toman en el presente, lo que eleva la correlación de la tendencia del precio de corto y largo plazo. Es decir, el largo plazo no es independiente del corto, sino que puede ser visto como el estado futuro al cual se llega concatenando periodos de corto plazo.

Como ha sido mencionado en otros artículos, el hecho que la metodología del precio de incentivo sea utilizada ampliamente por los actores de la industria minera, no se debe a sus bases conceptuales más sólidas respecto de otras metodologías, sino a un hecho práctico. Por el lado de la oferta está fundamentalmente basada en variables agregadas que la cultura de la industria minera domina ampliamente como son la cartera de proyectos, volúmenes de producción esperada, costos de proyectos y fases de desarrollo de inversión, Marshall, I., & Silva, E. (2002), no requiriendo de herramientas estadísticamente complejas.

El segundo método de análisis se basa en un modelo econométrico de equilibrio parcial para el mercado del cobre, con componentes autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL),

expresado como un modelo de cointegración. Pese a ser menos intuitivo para la industria minera, tiene la ventaja de incluir variables del entorno económico y financiero como tasas de interés, cotización del dólar, producción industrial de los principales demandantes del metal e índices de volatilidad de mercado, variables que los inversores constantemente consideran en sus decisiones de financiamiento o inversión en metales. Por consiguiente, esta metodología genera estimaciones, de corto o largo plazo, basados tanto en fundamentos como como en una visión futura del comportamiento del mercado del cobre.

Al comparar los resultados del modelo econométrico en ambas instancias; el primero, da un resultado de cUS\$303, mientras que el segundo, un cUS\$299, una diferencia de un 1.3%, muy por debajo de la diferencia de resultados de la metodología Precio Incentivo, que fue de un 13% (con cUS\$318 en la primera estimación, septiembre del año 2019, y cUS\$275 en la segunda instancia). Esto no puede en ningún caso llevar a concluir que una metodología es mejor o más apropiada por sobre la otra, sino más bien da indicios de la estabilidad, sensibilidad de cada una y de las variables que podrían afectar de mayor manera la proyección.

5. COMENTARIOS FINALES

El objetivo de este estudio fue mediante la estimación en dos momentos distintos del tiempo, separados por 5 meses, comparar a ambos modelos analizando la estabilidad de sus proyecciones (considerando que independiente de que las condiciones económicas actuales puedan variar, y salvo excepciones, el precio de largo plazo no debería tener grandes variaciones). Así, determinar qué variables generan mayor incertidumbre al interior de cada metodología.

De esta manera, se compararon los resultados de dos modelaciones comunes en la industria minera en dos momentos distintos del tiempo para determinar el precio de largo plazo del commodity mencionado; un primer análisis desarrolla la metodología de precio incentivo y un segundo análisis basado en un modelo econométrico de equilibrio parcial para el mercado del cobre, con componentes autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL). Los resultados muestran que, con cinco meses de diferencia, la proyección del precio del cobre en el Modelo Econométrico difiere en un 1.3%, mientras tanto la diferencia de resultados que

arroja el Modelo Precio Incentivo es de un 13%. Esto puede parecer contrario a la intuición, por cuanto el modelo de precio incentivo al estar basado fundamentalmente en la elaboración de un balance de mercado podría tender a ser más estable en el tiempo. No obstante, la alta sensibilidad a los parámetros de entrada, producción, demanda y saldo del balance termina haciéndolo más volátil que el econométrico.

No obstante, es necesario destacar que estos resultados no permiten determinar que una metodología esté por sobre la otra. Para tener resultados más concluyentes se recomienda continuar profundizando en esta línea de estudio, por ejemplo, mediante estimaciones en más momentos del tiempo o pasado el periodo de proyección, comparar lo proyectado por ambas metodologías con la realidad.

REFERENCIAS

- Baur, D. G., & Tran, D. T. (2014). The long-run relationship of gold and silver and the influence of bubbles and financial crises. *Empirical economics*, 47(4), 1525-1541.
- Cochilco (2013). Estructura y Proyecciones del Mercado del cobre. [Diapositivas]. Cochilco. https://boletin.cochilco.cl/archivos/presentaciones/20131212125222_ESTRUCTURA%20Y%20PROYECCION%20DEL%20MERCADO%20DEL%20COBRE.pdf
- De Gregorio, J., González, H., & Jaque, F. (2005). Fluctuaciones del dólar, precio del cobre y términos de intercambio. Banco Central de Chile.
- Eryiğit, M. (2017). Short-term and long-term relationships between gold prices and precious metal (palladium, silver and platinum) and energy (crude oil and gasoline) prices. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30(1), 499-510.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 251-276.
- Guzmán, J. I., & Silva, E. (2018). Copper price determination: fundamentals versus non-fundamentals. *Mineral Economics*, 31(3), 283-300.
- International Monetary Fund (IMF), 2019a, "People's Republic of China: 2019 Article IV Consultation".
- International Monetary Fund (IMF), 2019b, "Germany: 2019 Article IV Consultation".
- International Monetary Fund (IMF), 2019c, "Japan: 2019 Article IV Consultation".
- International Monetary Fund (IMF), 2019d, "External Sector Report: The Dynamics of External Adjustment".
- Jara, J. J., Lagos, G., Dubournais, F., Figueroa, C., Morales, E., Peters, D., & Sanzana, A. M. (2016). Modelamiento de escenarios de desarrollo minero e impactos económicos, sociales y ambientales en Chile: 2015-2035. Work document, Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Landerretche Moreno, Ó., & Silva Ramos, E. (2016). Situación de la industria del cobre y reacción de los productores.
- Levin, E.J. y Wright, R.E. (2006) Short-run and long-run determinants of the price of gold
- Liu, G. D., & Su, C. W. (2019). The dynamic causality between gold and silver prices in China market: A rolling window bootstrap approach. *Finance Research Letters*, 28, 101-106.
- López, E., & Riquelme, V. (2010). Auge, colapso y recuperación de los precios de materias primas entre 2002 y 2010: ¿Qué hay detrás? *Economía chilena*, vol. 13, no. 2.
- López, E., Muñoz, E., & Riquelme, V. (2011). Una evaluación de los modelos de proyección del precio del cobre: ¿podemos ir más allá de la autorregresión? *Economía chilena*, vol. 14, no. 3.
- Lord, M. J. (1991). Price formation in commodity markets. *Journal of Applied Econometrics*, 6(3), 239-254.
- Marshall, I., & Silva, E. (2002). Determinación del precio del cobre: un modelo basado en los fundamentos del mercado. Dilemas y debates en torno al cobre. Santiago: Dolmen/Centro de Economía Aplicada.
- Nkoro, E., & Uko, A. K. (2016). Autoregressive Distributed Lag (ARDL) cointegration technique: application and interpretation. *Journal of Statistical and Econometric Methods*, 5(4), 63-91.
- Phillips, P. C., & Ouliaris, S. (1990). Asymptotic properties of residual based tests for cointegration. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 165-193.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326.
- Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998). An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. *Econometric Society Monographs*, 31, 371-413.
- Smith, L. D. (2002). Discounted cash flow analysis methodology and discount rates.