

ELASTICIDADES DE PRECIOS DE PRODUCTOS BÁSICOS RELEVANTES PARA LA ECONOMÍA CHILENA*

Eduardo López E.**
Francisco Meneses P.***
Víctor Riquelme P.**

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se estudia el comportamiento de los precios de los dos productos básicos claves para la economía chilena, el cobre y el petróleo, especialmente en el plazo relevante para la toma de decisiones de política monetaria. Para ello, se plantea un modelo estilizado para el comportamiento de mediano plazo de dichos precios, que considera el impacto de factores fundamentales asociados a la evolución de los inventarios en bolsa, así como el valor del dólar, de los factores financieros como las tasas de interés, de las proyecciones para el consumo y la producción globales, y sus revisiones intraanuales.

El trabajo se organiza como sigue. En la sección II se describe el modelo estimado y sus principales variables; la sección III profundiza en el análisis de los desbalances entre consumo y producción globales, indicando su forma de estimación y su rol y uso en el contexto del modelo en cuestión. La sección IV describe los principales resultados de la estimación. En la sección V se reportan los efectos de diversos *shocks* sobre los precios de los dos productos básicos más relevantes. En la sección VI y final se presentan las principales conclusiones.

II. MODELO ESTILIZADO PARA LOS PRECIOS DEL COBRE Y DEL PETRÓLEO

Habitualmente se mencionan como principales determinantes de la evolución del precio de los productos básicos el tipo de cambio dólar multilateral, el nivel actual y las expectativas respecto del nivel futuro de los inventarios, la evolución de la actividad industrial global como *proxy* del consumo global, algunos factores de escala asociados a reservas

existentes o capacidad de producción y, finalmente, algunos determinantes asociados al rol de los flujos de inversión financiera en los mercados de bolsa.¹

Los modelos estilizados en este trabajo intentan captar la mayoría de estos determinantes. A continuación, se presenta la estructura general de las estimaciones trimestrales para el precio del cobre y del petróleo:

Cobre:

$$\begin{aligned} \Delta p_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^I \alpha_i \cdot \Delta p_{t-i} + \sum_{k=0}^K \beta_k \cdot \Delta \text{rinv}_{t-k} \\ & + \sum_{m=0}^M \gamma_m \cdot \Delta e_{t-m} + \sum_{j=0}^J \delta_j \cdot \Delta r_{t-j} \\ & + \sum_{p=0}^P \varphi_p \cdot \Delta AR_{t-p} + \sum_{n=0}^N \phi_n \cdot \Delta P_{t-n}^{MET} \\ & + \alpha_4 \cdot E_t(C_0^W - S_0^W) + \alpha_5 \cdot E_t(C_1^W - S_1^W) \\ & + \alpha_6 (p_{t-1} - \lambda_1 \cdot r_{t-1} - \lambda_2 \cdot \text{rinv}_{t-1} - \lambda_3 \cdot e_{t-1}) + \omega_t \end{aligned}$$

Petróleo:

$$\begin{aligned} \Delta p_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^I \alpha_i \cdot \Delta p_{t-i} + \sum_{k=0}^K \beta_k \cdot \Delta \text{rinv}_{t-k} \\ & + \sum_{n=0}^N \gamma_n \cdot \Delta e_{t-n} + \sum_{j=0}^J \delta_j \cdot \Delta r_{t-j} \\ & + \sum_{p=0}^P \varphi_p \cdot \Delta AR_{t-p} + \sum_{n=1}^N \phi_n \cdot \Delta (\text{Cap}_{t-n} - \overline{\text{Cap}}) \\ & + \alpha_4 \cdot \Delta (E_t(C_1^{OECD} - S_1^{NoOPEP})) \\ & + \alpha_5 \left[p_{t-1} - \lambda_1 \cdot \text{rinv}_{t-1} - \lambda_2 \cdot e_{t-1} \right. \\ & \left. - \lambda_3 \cdot (\text{Cap}_t - \overline{\text{Cap}}) + \lambda_4 \cdot \text{Disag}_{t-1} \right] + \nu_t \end{aligned}$$

* Agradecemos los comentarios y sugerencias de Pablo García, Pablo Pincheira, Sergio Lehmann, Alfredo Pistelli y Felipe Jaque a versiones preliminares de este trabajo. Cualquier error remanente es responsabilidad exclusiva de los autores.

** Gerencia de Análisis Internacional, Banco Central de Chile. E-mails: elopez@bcentral.cl; vriquelme@bcentral.cl

*** Departamento de Estudios, Ministerio de Educación, Chile. francisco.meneses@mineduc.cl

¹ Ciudad (2005) revisa con detalle estos determinantes para el caso del precio del cobre.

Se pueden observar algunas similitudes entre ambas especificaciones, así como algunas diferencias que reflejan ciertas peculiaridades asociadas al funcionamiento propio de cada uno de sus mercados. Entre las similitudes, podemos encontrar que:

- i) Ambas especificaciones incluyen términos de corrección de errores, suponiendo que los errores (v y ω) son bien comportados, y donde la longitud de los rezagos es determinado por la evidencia que proveen los datos.
- ii) La variable del lado izquierdo (p) en ambas ecuaciones corresponde al precio real del producto básico en cuestión, utilizándose como deflactor el índice de precios al productor (IPP) de Estados Unidos. El precio del cobre corresponde a los promedios trimestrales de valores transados diariamente en la Bolsa de Metales de Londres, en tanto, para el petróleo se ha considerado el marcador de precios *West Texas Intermediate* (WTI). Para captar la ampliamente documentada persistencia de los precios, se incluyen los rezagos de los precios en la especificación.
- iii) Se incluye una medida del valor del dólar multilateral (e_t). El índice del dólar multilateral se obtiene de la FED y es calculado con respecto a una canasta compuesta por las principales monedas del orbe.
- iv) El ratio de inventarios en bolsa a demanda (rin_v) busca ser una *proxy* del lapso de duración de los inventarios, por lo que se espera que afecte negativamente a los precios,² y se calcula a partir de información de stocks de la Bolsa de Metales de Londres, la Bolsa de Shanghai y Comex para el cobre. Para el caso del petróleo WTI, en tanto, se utiliza la información reportada semanalmente por el Departamento de Energía de Estados Unidos.
- v) Finalmente, para captar factores de origen financiero que impactan sobre los recursos naturales, se incluye un indicador del rendimiento de activos alternativos (r_t) que se construyó considerando un portafolio balanceado compuesto de índices bursátiles de bolsas desarrolladas (S&P500), bolsas emergentes (MSCI), bonos de renta fija globales de países desarrollados (GBI) y de economías emergentes (EMBIG). Otra variable de carácter financiero, relevante para el

precio de las materias primas, es la percepción de riesgo por parte de los inversionistas (AR). Su inclusión se justifica en que comúnmente se postula que los movimientos de corto plazo del precio guardan relación con el carácter de activo financiero del petróleo y del cobre. Para aproximar la variable apetito por riesgo o confianza de los inversionistas, hemos utilizado dos mediciones alternativas. La primera es el índice de confianza de los inversionistas (ICI), disponible desde el año 2000 y calculado por *State Street*, que se basa en los patrones efectivos de compra y venta de los inversionistas institucionales a nivel global. Así, los aumentos del índice son consecuencia de mayores tenencias en acciones en los portafolios globales, lo que se interpreta como un aumento de la confianza —o apetito por riesgo— por parte de los inversionistas institucionales. La segunda medida utilizada es el VIX, que mide la volatilidad esperada sobre el índice accionario S&P por lo que, desde este punto de vista, es una *proxy* del grado de aversión al riesgo prevaleciente en el mercado. Ambas medidas representan caras inversas de la misma moneda, por lo que se espera que impacten al precio en forma opuesta: mientras el ICI afecta con signo positivo, el VIX se espera que afecte negativamente al precio de la materia prima. En esta línea, se incluye un término prospectivo (*forward-looking*) que refleja las expectativas del mercado respecto del desbalance anual entre agregados de consumo y producción en el trimestre t para fines del año corriente (0) y para fines del año siguiente (1).³

En cuanto a las particularidades asociadas a cada especificación se destaca que, para el caso del cobre, se ha incluido un término que da cuenta del impacto agregado de los precios de metales (P^{MET}). Para el caso del petróleo, se ha incluido una variable que refleja la intensidad de uso —en relación con su nivel tendencial— de la capacidad instalada en las refinerías de Estados Unidos (Cap). Asimismo, se

² Pincheira (1999, 2000), entrega evidencia de que el signo esperado puede variar según la especificación y el plazo considerado en el análisis.

³ En la siguiente sección, esta variable se analiza con más detalle.

ha incorporado una variable que representa el grado de incumplimiento de las cuotas de producción pactadas por la Organización de Países Exportadores de Petróleo⁴ (*Disag*). La inclusión de esta variable se justifica porque comúnmente se señala que los precios del petróleo varían según fluctúa el desalineamiento entre la cuota pactada para cada uno de los países componentes de la Organización, y la producción efectiva. De hecho, esto es así en episodios anteriores donde el precio ha subido rápidamente, como durante la guerra del Golfo en 1991, o el *boom* de precios del año pasado. Para capturar este elemento se diseña este indicador, que se calcula como:

$$Disag_t = \sum_i \left(\frac{producción_país_i - cuota_país_i}{producción_total - cuota_total} \right)^2$$

i = miembros de la OPEP.

Como se puede observar, este indicador castiga por igual un desvío por exceso o insuficiencia de producción respecto de lo pactado, por lo que captura las distintas presiones sobre el precio que se generan en cada uno de estos casos.

Adicionalmente, se han estimado ecuaciones de inventarios, las cuales se especifican de la siguiente forma general:

$$\begin{aligned} rinv_t - \overline{rinv}_t = & \delta_0 + \delta_1 t + \delta_2 (rinv_{t-1} - \overline{rinv}_{t-1}) \\ & + \delta_3 \Delta r + \delta_4 \Delta C_t + \delta_5 E_t(C_0^w - S_0^w) \\ & + \delta_6 E_t(C_1^w - S_1^w) \end{aligned}$$

En el lado izquierdo de la especificación, se considera el ratio de inventarios en relación con su nivel tendencial, y entre los principales determinantes del lado derecho se incluyen: los cambios en el nivel de consumo, para reflejar los motivos transaccionales para mantener inventarios; los cambios en la tasa de interés, para reflejar el costo de oportunidad de mantener inventarios; y el desbalance anual entre consumo y producción mundiales esperado por el mercado en el trimestre t para fines del año corriente (0) y para fines del año siguiente (1), a fin de incorporar un componente prospectivo en la evolución actual de los stocks.

III. DESBALANCES ACTUALES Y FUTUROS ENTRE OFERTA Y DEMANDA GLOBAL

En los comentarios de analistas respecto de los determinantes de los precios del cobre y del petróleo, a menudo se considera relevante el rol de las proyecciones del desbalance entre oferta y demanda. Sin embargo, hasta ahora no hemos encontrado trabajos que incluyan formalmente el impacto de esta variable en la estimación empírica. En el presente trabajo se desea incluir esta medida y evaluar su efecto sobre el precio. En las especificaciones descritas en la sección anterior, se ha incluido, para el caso del cobre, el desbalance físico global esperado en el trimestre correspondiente para fines del año corriente y para fines del año siguiente; para el caso del petróleo, se ha considerado relevante utilizar el desbalance entre el consumo del bloque OECD y la producción del segmento No OPEP. La justificación para el uso de estos subagregados radica en que ellos son los que efectivamente son guiados por la evolución de los precios de mercados y, por lo tanto, también producen impactos sobre los precios. La producción de la OPEP y el consumo de otros bloques No OECD son en buena parte determinados por consideraciones adicionales a las del precio, lo cual reduce la correlación con los precios.

No obstante lo anterior, la información disponible para esta variable no abarca más allá de un par de años, por lo que resulta insuficiente para diseñar un modelo que preste utilidad en la modelación de precios tendenciales. Por otra parte, en general esta información se encuentra agregada por regiones, lo que impide analizar los distintos efectos a nivel país que pueden tener repercusiones en el mercado global. Por estos motivos, se ha considerado apropiado tener aproximaciones propias de la evolución de las presiones de oferta y demanda existentes en los mercados respectivos, y que pueden producir efectos a nivel global. Por lo tanto, se ha estimado un bloque anual de consumo y producción para aproximar esta variable. Este bloque se describe en los siguientes párrafos.

Tanto para el cobre como para el petróleo, la forma estándar para las especificaciones de la demanda considera un indicador de producto nacional, y una

⁴ En adelante, OPEP.

proxy para el precio real del precio en cuestión de tendencia. De forma generalizada, puede indicarse la siguiente especificación para la ecuación de consumo del producto por parte de un país o región:

$$\begin{aligned} \Delta c_t = & \alpha_1 + \alpha_2 \cdot t^{-1} + \alpha_3 \cdot c_{t-1} + \alpha_4 \cdot y_{t-1} + \alpha_5 \cdot p_{t-1} \\ & + \alpha_5 \cdot e_{t-1} + \sum_{n=1}^3 \lambda_n \cdot \Delta c_{t-n} + \sum_{n=1}^3 \chi_n \cdot \Delta y_{t-n} \\ & + \sum_{n=1}^3 \phi_n \cdot \Delta p_{t-n} + \sum_{n=1}^3 \delta_n \cdot \Delta e_{t-n} + \varepsilon_t \end{aligned}$$

donde c_t representa el logaritmo del nivel de consumo en el período t , t es la tendencia, y_t representa una medida de producción agregada del país, p_t indica el logaritmo del precio del respectivo bien, y e_t es una medida del tipo de cambio multilateral de EE.UU. El término ε_t representa el residuo de la ecuación, el que se espera presente todas las propiedades de un error bien comportado.

Para la oferta, en el caso del cobre se estimó una ecuación para la producción agregada que en su formulación de largo plazo considera un índice de producción ponderado para los principales países productores, el promedio móvil del precio real del cobre para los cinco años anteriores al actual, como *proxy* del precio relevante al decidir el inicio o la postergación de un proyecto, una medida de costos reales de la industria, la que obviamente se espera afecte negativamente la oferta, y un indicador de las reservas de cobre disponibles multiplicado por la ley del mineral extraído. Así, se puede especificar la producción de cobre refinado de un país o zona geográfica en los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \Delta q_t = & \alpha_1 + \alpha_2 \cdot t + \alpha_3 \cdot q_{t-1} + \alpha_3 \cdot y_{t-1} + \alpha_4 \cdot \bar{p} \\ & + \alpha_5 \cdot \text{Res}_{t-1} + \alpha_5 \cdot \text{Cto}_{t-1} + \sum_{n=1}^3 \lambda_n \cdot \Delta q_{t-n} \\ & + \sum_{n=1}^3 \chi_n \cdot \Delta y_{t-n} + \sum_{n=1}^3 \delta_n \cdot \Delta \text{Cto}_{t-n} \\ & + \sum_{n=1}^3 \delta_n \cdot \Delta \text{Res}_{t-n} + \mu_t \end{aligned}$$

donde q_t representa la producción agregada en el período t , mientras \bar{p} es un promedio histórico del precio del metal durante los tres años anteriores. Res_t indica las reservas de cobre para el año t , y Cto_t refleja

una medida de costos agregados de producción. μ_t es un residuo que se presume bien comportado.

Para el caso del petróleo, se han distinguido bloques de países, y las especificaciones consideran básicamente el precio real del crudo, variables de tendencia y rezagos de la producción respectiva. Las variables que determinan el nivel real de precios en el corto y largo plazo son el desbalance físico esperado para los próximos años, un índice de dólar (respecto de una canasta compuesta por las principales monedas del mundo), el ratio de inventarios en bolsa a demanda, y un indicador de costo alternativo, de carácter financiero, compuesto por un promedio ponderado entre un indicador de evolución bursátil en los países emergentes, y otro para los países desarrollados. Para el cobre, se incluye también un índice de precios de otros metales, para capturar los movimientos en otros metales que pueden influir en su precio. Así, en términos genéricos, las especificaciones para la producción por países o zonas geográficas son:

No OPEP

$$\begin{aligned} \Delta q_t = & \alpha_1 + \alpha_2 \cdot t + \alpha_3 \cdot q_{t-1} + \alpha_4 \cdot p_{t-1} \\ & + \sum_{n=1}^3 \lambda_n \cdot \Delta q_{t-n} + \sum_{n=1}^3 \delta_n \cdot \Delta p_{t-n} + \varphi_t \end{aligned}$$

OPEP

$$\begin{aligned} \Delta q_t = & \alpha_1 + \alpha_2 \cdot q_{t-1} + \alpha_3 \cdot pd_{t-1} + \alpha_4 \cdot \text{Cap}_{t-1} \\ & + \sum_{n=1}^3 \lambda_n \cdot \Delta q_{t-n} + \sum_{n=1}^3 \delta_n \cdot \Delta pd_{t-n} + \theta_t \end{aligned}$$

Cap es una medida de la capacidad de producción del bloque. Los residuos de ambas ecuaciones (φ_t y θ_t) se suponen bien comportados. Los precios relevantes para cada país cambian en función de la zona geográfica en que se encuentren, por lo que se usará el precio del petróleo WTI, Brent o Dubai, según corresponda.⁵

⁵ Para la estimación de consumo y producción se han utilizado los precios de referencia para la zona geográfica respectiva, como son el Brent (Europa) o Dubai (Asia) y con ese fin se han estimado ecuaciones que dan cuenta de la relación de arbitraje de estos precios con el referencial WTI.

Para el caso del cobre, la demanda mundial por cobre refinado se obtiene de sumar los consumos regionales, compuestos a su vez por los principales países consumidores de cada continente. Se estima el consumo de 24 países (lo que captura casi el 90% del total de consumo mundial): Estados Unidos, México y Canadá componen el bloque de Norteamérica; Argentina, Brasil, Chile y Perú integran el bloque de Sudamérica; Bélgica, Finlandia, Francia, Italia, Alemania, Rusia, Reino Unido y Turquía conforman el bloque europeo; en tanto, Indonesia, Corea del Sur, Taiwán, Malasia y Tailandia componen el bloque asiático. China, Japón e India se estiman separadamente, debido a su gran relevancia en el mercado. La estimación de la oferta, finalmente, se realiza utilizando la producción mundial agregada de cobre refinado, tras suponer que la baja incidencia de los poderes monopólicos en el mercado del cobre lo permite.

Para el caso del petróleo, se han utilizado datos de demanda y oferta anuales para el período 1984-2009, recopilados por la *Energy Information Administration* (EIA) dependiente del Departamento de Energía de Estados Unidos. Se ha modelado el equivalente al 80% del consumo mundial, que se descompone de la siguiente manera: el bloque de demanda de Norteamérica se compone de Estados Unidos, Canadá y México; el consumo de Latinoamérica está compuesto por Argentina, Chile, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, Panamá, Perú, República Dominicana y Venezuela, en tanto Brasil, al ser un consumidor relevante en el escenario mundial, se analiza por separado. El consumo de la Zona Euro, compuesto por Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Grecia, Italia, los Países Bajos y Portugal, se estima de modo conjunto, al igual que el denominado bloque escandinavo, que agrupa los consumos de Polonia, Rumania, Suecia, Suiza y Turquía. El Reino Unido y Rusia se analizan por separado. Finalmente, en el bloque asiático se agrupan los consumos de Corea del Sur, Indonesia, Malasia, Singapur y Taiwán, dejando para un análisis separado a Australia, China, India y Japón. Por el lado de la oferta, se modela un equivalente al 88% de la oferta global; y, para capturar el funcionamiento del mercado mundial del petróleo, se distingue entre aquellos países miembros de la OPEP y los

principales países productores que no pertenecen a dicha organización, es decir: Norteamérica (Canadá, Estados Unidos y México) Latinoamérica (Argentina y Brasil), Europa (Noruega y Reino Unido), Australia, China, Egipto, Rusia y Asia (India, Indonesia y Malasia).

Una vez estimadas estas ecuaciones, y construidas las respectivas demandas y ofertas agregadas, es posible obtener las respectivas elasticidades precio y producto para cada producto. Para evaluar la coherencia de nuestras estimaciones, se ha recopilado información de 20 estudios sobre los mercados de petróleo y de cobre, que difieren en la especificación de los modelos, el uso de series de tiempo o datos de corte transversal, las propiedades de los residuos y las metodologías de estimación. Dicha información se resume en el cuadro 1.

Para el caso del cobre, los estudios encuentran: (i) elasticidades precio de oferta y demanda bajas y significativas, con elasticidades de corto plazo menores que las de largo plazo (en valor absoluto), (ii) elasticidades ingreso cercanas a la unidad, y (iii) significativos efectos de los precios de la energía sobre la oferta de cobre en el largo plazo. En lo referente al petróleo, se concluye que, no obstante que la mayoría de los estudios sobre mercados energéticos son de corte transversal, la demanda por petróleo tiende a ser altamente inelástica al precio tanto en el corto como en el largo plazo, siendo esta última mayor que la de corto plazo. Debido a que el principal interés de los estudios sobre los mercados de energía se ha concentrado en las implicaciones de los *shocks* de precios sobre ahorro y sustitución de energía, y sobre inflación, empleo y crecimiento, en general se ha prestado poca atención a las elasticidades de oferta.

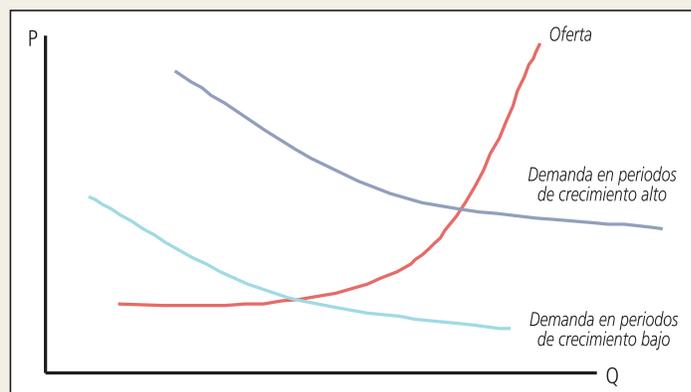
La alta inelasticidad precio de la demanda y de la oferta de estos dos insumos tiene importantes implicancias para la volatilidad de los precios del cobre y del petróleo. Por ejemplo, una reducción de la oferta del crudo —quizás por una reducción de las cuotas de producción de la OPEP— conducirá a una fuerte subida del precio, dada la inelasticidad de la demanda. En el mismo sentido, dada la inelasticidad de la oferta, una reducción de la demanda inducida, por ejemplo, por una desaceleración de la economía

CUADRO 1

Estimación de Elasticidades Precio para Petróleo y Cobre: Estudios Previos
(cambio porcentual respecto de un aumento de 1% en el precio del producto respectivo)

Estudio	Característica	Precio	
		Corto plazo	Largo plazo
Takeuchi (1974)	Demanda de cobre		[-0.1;-0.3]
Banks (1974)	Demanda de cobre	-0.24	-0.36
Mardones (1984)	Demanda de cobre	[-0.09;-0.47]	[-0.19;-0.92]
Vial (1988)	Demanda de cobre	-0.03	-0.01
Vial (2003)	Demanda de cobre	-0.11	-0.85
Vial (2004)	Demanda de cobre	-0.03	-0.2
Newhouse & Sloan (1966)	Oferta de cobre	0.2	2.47
Banks (1969)	Oferta de cobre	0.2	0.701
Banks (1974)	Oferta de cobre	0.55	0.75
Mardones (1984)	Oferta de cobre	[0.07;0.54]	[0.40;3.30]
Vial (1988)	Oferta de cobre	0.11	0.22
Vial (2003)	Oferta de cobre	0.08	0.25
Vial (2004)	Oferta de cobre	0.05	0.13
Phillips (1972)	Demanda de gasolina	-0.11	-0.68
Ver Leger y Sheehan (1973)	Demanda de gasolina	-0.07	-0.28
Adams et al. (1974)	Demanda de gasolina		-0.9
Houthakker et al. (1974)	Demanda de gasolina	-0.075	-0.24
Ramsey et al. (1975)	Demanda de gasolina		-0.7
Rice & Smith (1977)	Demanda de gasolina	-0.35	-0.45
Pyndick (1979)	Demanda de combustible residencial		[-1.0;-1.25]
Pyndick (1979)	Demanda de combustible industrial		[-0.22;-1.17]
Pyndick (1979)	Demanda de gasolina para transporte		-1.31
Dhal & Sterner (1991)	Demanda de gasolina	[-0.22;-0.31]	[-0.8;-1.01]
Dhal (1993)	Demanda de petróleo (países emergentes)	-0.07	-0.3
Cooper (2003)	Demanda de petróleo (promedio 23 países)	-0.05	-0.21
Hamilton (2003)	Demanda de petróleo (supuesta)	-0.26	1
Dees et al. (2005)	Demanda de petróleo	-0.03	
Krichene (2005)	Demanda de petróleo (1974-2004)	-0.01	-0.12
Krichene (2005)	Oferta de petróleo (1974-2004)	0.03	0.23

Oferta y Demanda de Mercado en Distintos Ciclos de la Economía



Fuente: Elaboración propia.

mundial, causará una fuerte caída del precio,⁶ tal como se ilustra en el gráfico 1.

Específicamente, la evidencia indica que la elasticidad precio de la demanda de cobre se encuentra dentro de un rango de -0.10 a -0.18 en el corto plazo, y de -0.29 a -0.44 en el largo plazo. En el caso de la demanda de petróleo, su elasticidad precio se encontraría dentro de un rango de -0.12 a -0.13 en el corto plazo, y de -0.41 a -0.51 en el largo plazo. El cuadro 2 resume los principales resultados provenientes de las estimaciones de las ecuaciones de consumo y producción.⁷ Estos resultados corroboran la importancia clave del crecimiento de la economía global en la determinación de los precios del cobre y del petróleo. En primer lugar, se destaca el alto nivel de ajuste que presentan las ecuaciones tanto de oferta como de demanda, incluso en el caso de especificaciones de corrección de errores que arrojan típicamente coeficiente de ajuste bajos. En segundo lugar, se destaca que los signos concuerdan con la teoría. En tercer lugar, se puede observar que, en concordancia con estudios anteriores, las elasticidades precio resultantes alcanzan valores pequeños, e incluso, menores de 1 en varios casos. En particular, una estimación agregada de las elasticidades precio de largo plazo de la demanda de cobre y de petróleo alcanza guarismos de -0.12 y -0.19 , respectivamente. Para la elasticidad precio de la oferta de largo plazo, estos valores son, respectivamente, 0.07 y 0.18 . En cuarto lugar, como es esperable, las elasticidades PIB de economías desarrolladas tienden a ser menores de 1 (salvo EEUU y Francia, en el caso

del cobre), y superiores a la unidad para la mayoría de las economías asiáticas de la muestra.

IV. RESULTADOS ECONÓMICOS DE LAS ECUACIONES DE PRECIOS

En las estimaciones se utilizaron datos trimestrales que, para el precio del cobre cubren el período 2002.II a 2009.I y, para el caso del petróleo corresponden al período 1990-2009.I. En general, para la elección de las especificaciones finales contenidas en los modelos se utilizaron criterios tales como la calidad del ajuste, la significancia estadística de

los estimadores y su coherencia con la teoría, y un conjunto de tests de diagnóstico (autocorrelación, heterocedasticidad, raíces unitarias) sobre los residuos de las ecuaciones. Un resumen de los resultados de las regresiones de MCO, en términos de las elasticidades de largo plazo de las principales variables explicativas, se presenta en el cuadro 3.

En general, las especificaciones elegidas para las ecuaciones de precios son más parsimoniosas que las generales presentadas en la sección II, destacándose la baja longitud de los rezagos contenidos en cada caso. Asimismo, llaman la atención los signos negativos y la significancia de los coeficientes asociados al índice de dólar y a los ratios de inventarios y de los términos de corrección de error.

Respecto del rol de las expectativas de un futuro desbalance de mercado, la evidencia indica que esta variable tendría un impacto mayor en el caso del precio del cobre por su efecto de largo plazo,

⁶ La inelasticidad de la oferta ha sido documentada por Pincheira (1999, 2000) para el cobre, y es extensible al caso del petróleo. Específicamente, Pincheira enfatiza la forma "cuasi-quebrada" de la oferta de recursos naturales, de acuerdo con la cual el valor de la elasticidad depende de los niveles de producción (y/o demanda) que prevalezcan en el mercado; así, cuando la demanda es elevada, se verifican limitaciones por el lado de la oferta que hacen que los shocks de demanda se reflejen en amplias fluctuaciones de precios. En cambio, cuando la demanda es baja, los shocks de demanda no tienen efectos significativos en los precios, y la producción acomoda fácilmente estos shocks.

⁷ En el Apéndice se detalla la forma de cálculo de las elasticidades de largo plazo reportadas en el cuadro.

CUADRO 2

Elasticidades de Ecuaciones de Consumo y Producción

COBRE Demanda							PETROLEO Demanda							
Regresores	Elast. LP	R ²	Muestra	DW	Elast. precio	Elast. GDP	R ²	Muestra	DW	Precio	GDP	R ²	Muestra	DW
Estados Unidos	-0.25	0.99	1961-2009	1.76	-0.24	1.03	0.61	1984-2009	2.09	Estados Unidos	1.03	0.61	1984-2009	2.09
Brasil	-0.16	0.89	1962-2009	2.24	-0.13	1.1	0.26	1984-2009	1.81	Brasil	1.1	0.26	1984-2009	1.81
México	-0.70	0.63	1962-2009	1.85	-0.01	0.16	0.49	1985-2009	2.02	Resto de América Latina	0.16	0.49	1985-2009	2.02
Rusia		0.60	1991-2009	2.18	-0.06	0.27	0.41	1984-2009	2.01	Zona Euro	0.27	0.41	1984-2009	2.01
Reino Unido		0.60	1964-2009	1.82	-0.07	0.37	0.62	1984-2009	2.11	Resto de Europa	0.37	0.62	1984-2009	2.11
Francia	-0.10	0.28	1964-2009	1.87	-0.22	0.78	0.91	1992-2009	3.04	Rusia	0.78	0.91	1992-2009	3.04
Italia	-0.25	0.48	1964-2009	1.68	-0.2	0.52	0.75	1984-2009	1.36	Reino Unido	0.52	0.75	1984-2009	1.36
Alemania		0.92	1972-2009	1.77	-0.27	0.62	0.67	1982-2009	2.07	Japón	0.62	0.67	1982-2009	2.07
Japón	-0.55	0.58	1962-2009	1.72	-0.12	0.7	0.82	1984-2009	1.91	China	0.7	0.82	1984-2009	1.91
China	-0.30	7.80	1979-2009	1.65	-0.26	0.78	0.53	1982-2009	1.89	India	0.78	0.53	1982-2009	1.89
India	1.12	0.42	1961-2009	1.96	-0.23	1.52	0.75	1982-2009	1.48	Resto de Asia	1.52	0.75	1982-2009	1.48
Oferta							Oferta							
Regresores	Elast. LP	R ²	Muestra	DW	Regresores	Elast. Precio	Elast. Capac.	R ²	Muestra	DW				
Ind. producto	0.82	0.98	1986-2009	1.00	No OPEP									
Precio medio	0.14				Norteamérica	0.01		0.55	1985-2009	2.1				
Reservas *ley	0.42				Latinoamérica	0.43		0.81	1986-2009	1.93				
Costo	-0.28				Europa	6.15		0.82	1986-2009	1.39				
					Rusia	0.07		0.94	1985-2009	2.24				
					China	0.36		0.82	1982-2009	2.15				
					India	0.2		0.74	1982-2009	2.02				
					Resto de Asia	0.15		0.69	1983-2009	2.35				
					OPEP	0.17	0.99	0.89	1983-2009	2.16				

Fuente: Elaboración propia.

mientras que en el caso del petróleo se muestra relevante para el corto plazo. Respecto de la variable asociada percepción del riesgo por parte de los inversionistas se encontró que, al incluirla en la ecuación de corto plazo del cobre, las variaciones del ICI son significativas y robustas como determinantes del precio. Lo anterior confirmaría que las fluctuaciones de precio pueden explicarse por, entre otros factores, cambios en el ambiente de inversiones global, destacando por lo demás el rol de activo financiero del metal. Sin embargo, ni esta medida ni la del VIX resultó robusta en la estimación del precio del petróleo, lo que puede explicarse por la periodicidad de la estimación (trimestral) frente a los efectos especulativos sobre el precio (en general, percibidos a menor plazo).

V. RESPUESTAS FRENTE A *SHOCKS* EXÓGENOS

En el gráfico 2 se observan las elasticidades anuales de los precios del cobre y del petróleo en un horizonte de diez años, luego de un *shock* que ocurre en el año 0 y se reversa en el año 1.⁸ Dichas elasticidades se calculan como el porcentaje de cambio respecto de las trayectorias del escenario base. El primer ejercicio de simulación considera un mayor crecimiento del PIB de 1% en todos los países del mundo, suponiendo todo lo demás constante. El segundo ejercicio también es un *shock* real, esta vez sobre la oferta, que aumenta transitoriamente en 1%. El tercer ejercicio considerado consiste en una apreciación transitoria de 1% en el valor del tipo de cambio real de Estados Unidos. Finalmente, se considera un aumento transitorio de 100 puntos base en la tasa de interés. Estos últimos dos *shocks* pueden catalogarse como *shocks* de tipo financiero. El carácter transitorio de los *shocks* consiste en que la variable perturbada vuelve a su nivel en el escenario base después de un año de ocurrido el *shock*.

Se refleja, en primer término, una característica ampliamente documentada en la mayoría de los estudios sobre precios de bienes primarios, y que se refiere a la alta persistencia de los *shocks* y a la longitud de los ciclos en estos mercados. Al comparar el mercado del cobre con el mercado del petróleo, se aprecia una mayor persistencia del precio del cobre, especialmente frente a *shocks* sobre

oferta y demanda. Asimismo, se aprecia que frente a los *shocks* reales, el precio del cobre es más sensible que el precio del petróleo. Una posible explicación para ello es que la existencia de factores diferentes del precio —comportamiento de la OPEP, o la mayor segmentación (por ejemplo, el mercado americano tiene un comportamiento de corto plazo que puede disociarse del resto del mundo)— en el mercado del petróleo pueden ser la causa de la relativa inelasticidad del precio a los factores fundamentales respecto de los financieros.

Al comparar la respuesta de los precios frente a los *shocks* de tipo financiero, se observa que los precios reaccionan más fuertemente a los *shocks* al tipo de cambio que a los *shocks* de tasas de interés, y especialmente en el corto plazo se observa una mayor sensibilidad del precio del petróleo que del cobre. Otra observación interesante es la reacción del precio frente a un *shock* real, como sería el aumento del PIB global versus un *shock* de origen financiero como es el aumento de las tasas de interés. Si bien la respuesta de los precios frente a los *shocks* reales no es novedosa, en términos ni de magnitud ni de persistencia, se puede notar que la respuesta de corto plazo de los precios a un aumento de la tasa de interés es también al alza. La razón para este efecto es que un alza de la tasa de interés eleva el costo de oportunidad de mantener existencias, reduciendo los inventarios en bolsa y provocando presiones para mayores precios. En el largo plazo, se observa que un *shock* de tasas de interés reduce los precios de ambos bienes, resultado que es coherente con los estudios previos. Este patrón de respuesta, no documentada hasta ahora, da cuenta de la importancia que han adquirido los factores financieros en la determinación de los inventarios en bolsa y su impacto de corto plazo de los precios de los recursos naturales.

⁸ En el contexto de estos ejercicios se obtuvieron también las elasticidades de oferta y consumo para ambos bienes. En línea con la literatura existente, los resultados indican una mayor sensibilidad del consumo en comparación con la de la producción, tanto para el cobre como para el petróleo. Ello, por supuesto, es reflejo de que las decisiones de inversión y de producción toman más tiempo en concretarse en los datos, y por lo tanto los precios relevantes para estas decisiones no son necesariamente los más recientes, como sí es el caso del consumo.

CUADRO 3

Estimaciones Econométricas para Precios del Cobre y del Petróleo

Estimación Precio Real

Cobre

Especificación final

$$\Delta P_t = \delta_1 \cdot \Delta r_{t-1} + \varphi_0 \cdot \Delta AR_t + \phi_0 \cdot \Delta P_{t-n}^{MET} + \alpha_0 (P_{t-1} - \lambda_0 - \lambda_2 \cdot rinv_{t-1} - \lambda_3 \cdot e_{t-1} - \lambda_4 \cdot E_t(C_t^w - S_t^w)) + \omega_t$$

	Coef.	Error est.	Coef.	Error est.
δ_1	-0.410	0.116	λ_0	17.031
φ_0	0.409	0.164	λ_2	-0.165
ϕ_0	1.076	0.086	λ_3	-3.706
α_0	-0.167	0.120	λ_4	0.0005

R²

0.90

R² ajustado

0.89

Error estándar regresión

0.06

DW

1.69

Petróleo

Especificación final

$$\Delta P_t = \beta_0 \cdot \Delta rinv_t + \gamma_0 \cdot \Delta e_t + \phi_4 \cdot \Delta (\text{Cap}_{t-4} - \overline{\text{Cap}}) + \alpha_1 \cdot \Delta (E_t(C_t^{OECD} - S_t^{NOPEP})) + \theta (P_{t-1} - \lambda_0 - \lambda_1 \cdot rinv_{t-1} - \lambda_2 \cdot e_{t-1} - \lambda_3 \cdot (\text{Cap}_t - \overline{\text{Cap}}) + \lambda_4 \cdot \text{Disag}_{t+1}) + \nu_t$$

	Coef.	Error est.	Coef.	Error est.
γ_0	-2.002	0.470	λ_0	13.773
ϕ_4	0.007	0.004	λ_1	-1.698
β_0	-0.945	0.380	λ_2	-2.844
α_1	0.008	0.004	λ_3	0.018
θ	-0.082	0.054	λ_4	0.079

R²

0.361

R² ajustado

0.326

Error estándar regresión

0.120

DW

1.598

Regresores LP	Coef.	Elast. LP	R ²	Muestra	DW
---------------	-------	-----------	----------------	---------	----

Ratio inventarios

-0.16 (-2.72)

-0.97

0.85

02.2-09.2

1.77

TCR EE.UU.

-3.71 (-6.34)

-3.17

0.003

Desbalance año siguiente

0.00 (2.83)

0.003

Regresores LP	Coef.	Elast. LP	R ²	Muestra	DW
---------------	-------	-----------	----------------	---------	----

Ratio inventarios

-1.70 (-5.53)

-21.12

0.36

90.4-09.4

1.59

TCR EE.UU.

-2.84 (-8.67)

-34.36

Incumplimiento

0.08 (-4.35)

0.22

Brecha de capacidad

0.02 (-1.88)

0.96

CUADRO 3 (continuación)

Estimaciones Econométricas para Precios del Cobre y del Petróleo

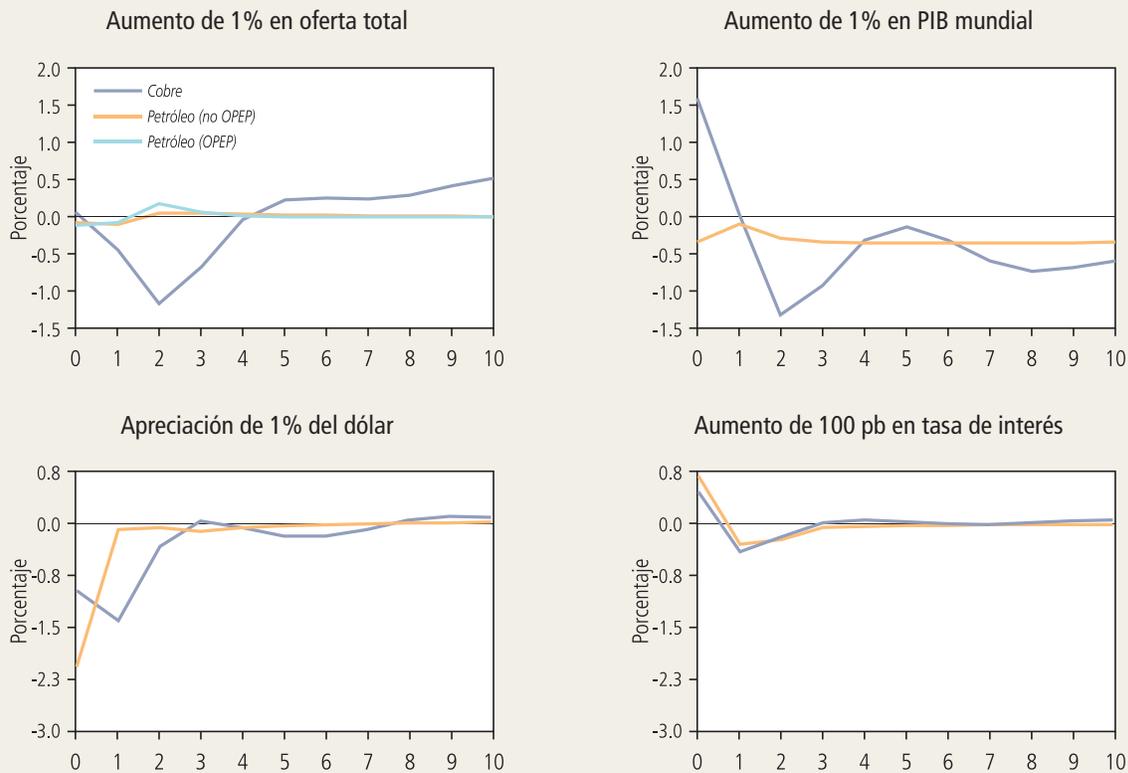
Estimación Ratio Inventarios a Consumo

Especificación final		Especificación final	
$\overline{rinv}_t = \delta_1 t + \delta_3 \Delta r + \delta_4 \Delta C_t + 2 \cdot \delta_5 \cdot E_t(C_0^w - S_0^w) + \delta_6 E_t(C_1^w - S_1^w)$		$\overline{rinv}_t - \overline{rinv}_{t-1} = \delta_2 (\overline{rinv}_{t-1} - \overline{rinv}_{t-2}) + \delta_3 \Delta r + \delta_4 \Delta C_t + \delta_5 E_t(C_0^w - S_0^w) + \delta_5 E_t(C_1^w - S_1^w)$	
Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
δ_1	-0.001	δ_2	0.71
δ_3	-27.990	δ_3	-0.02
δ_4	-3.589	δ_4	-1.30
δ_6	9.074	δ_5	-0.01
R ²	0.29	R ²	0.61
R ² ajustado	0.21	R ² ajustado	0.59
Error estándar regresión	0.58	Error estándar regresión	0.03
DW	1.93	DW	1.64

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2

Respuesta de los Precios, Respuesta de los Precios a Varios *Shocks*



Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES FINALES

En este trabajo se ha estimado y simulado un modelo común para el comportamiento de los precios del cobre y del petróleo que intenta capturar una amplia gama de factores que en conjunto determinan la evolución del precio, a saber: desbalances físicos, efecto de los precios en la oferta y la demanda, efecto de inventarios, reservas respectivas y efecto de las variables financieras y políticas (como son las cuotas en el caso del petróleo). Lo anterior se realiza modelando las demandas de un gran número de países, que abarcan entre 80 y 90% del total del consumo mundial de petróleo y cobre, respectivamente.

En concordancia con los estudios anteriores, los resultados de las estimaciones dan cuenta de la elevada inelasticidad precio del consumo y la producción agregada tanto para el cobre como para el petróleo. En particular, una estimación agregada de las elasticidades precio de largo plazo de la demanda

de cobre y petróleo alcanza guarismos de -0.12 y -0.19 , respectivamente. En el caso de la elasticidad precio de la oferta de largo plazo, estos valores son, respectivamente, 0.07 y 0.18 .

Los resultados de los ejercicios de simulación de los modelos reflejan una característica ampliamente documentada en la mayoría de los estudios previos sobre precios de recursos naturales, y que se refiere a la alta persistencia de los *shocks* y a la longitud de los ciclos en estos mercados. Al realizar ejercicios de simulación, se encuentra que los *shocks* afectan en mayor magnitud al cobre que al petróleo, y que los *shocks* reales tienen mayor persistencia que los *shocks* financieros. Finalmente, los ejercicios indican que los inventarios en bolsa juegan un rol mayor en la determinación del precio ante la ocurrencia de un *shock* financiero de corto plazo *vis à vis* un *shock* real de la misma duración.

REFERENCIAS

- Adams, F.G. H. Graham y J.M. Griffin (1974). "Demand Elasticities for Gasoline, Another View." Department of Economics, Discussion Paper N°279, University of Pennsylvania.
- Banks, F.E. (1969). "An Economic and Econometric Analysis of the World Copper Market." Borrador preparado para Unctad.
- Banks, F.E. (1974). "The World Copper Market: An Economic Analysis." Cambridge, MA, EE.UU.: Ballinger Pub. Co.
- Cooper, J.C.B. (2003). "Price Elasticity of Demand for Crude Oil: Estimates for 23 Countries." *OPEC Review* 27(1): 1-8.
- Ciudad, J.C. (2005). "Determinantes del Precio *Spot* de Cobre en las Bolsas de Metales." Serie Recursos Naturales e Infraestructura N°84(febrero), Cepal.
- Dees, S., P. Karadeloglou, R.K. Kaufmann y M. Sánchez (2007). "Modeling the World Oil Market: Assessment of a Quarterly Econometric Model." *Energy Policy* 35(1), enero: 178-91.
- Dhal, C.A. y T. Sterner (1991). "Analyzing Gasoline Demand Elasticities: A Survey." *Energy Economics* 13: 203-10.
- Dhal, C.A. (1993). "A Survey of Oil Demand Elasticities for Developing Countries." *OPEC Review* 17 (invierno): 399-419.
- Hamilton, J.D. (2008). "Understanding Crude Oil Prices" NBER Working Paper N°14492.
- Houthakker, H.S., P.K. Verleger y D.P. Sheehan (1974). "Dynamic Demand Analyses for Gasoline and Residential Electricity." *American Journal of Agricultural Economics* 56: 412-18.
- Krichene, N. (2005). "A Simultaneous Equations Model for World Crude Oil and Natural Gas Markets." IMF Working Paper 05/32.
- Mardones, J.L., I.Marshall y E. Silva (1984). "Chile y CIPEC en el Mercado Mundial del Cobre: Frenar la Producción o Expandir el Consumo." Centro de Estudios Públicos, enero.
- Phillips, L. (1972). "Dynamic Version of the Linear Expenditures Model." *Review of Economic and Statistics* 54: 450-570.
- Pincheira, P. (1999). "The Price-Stock Relationship in the Copper Market, A Surprising Approach." Seminar Proceedings Vol. 1, Copper'99 Conference. Phoenix, Arizona. Octubre.
- Pincheira, P. (2000). "The Price-Stock Relationship in the Copper Market, an Econometric Perspective" Reporte para la División de Planificación, Comisión Chilena del Cobre.
- Pyndick, R.S. (1979). *The Structure of World Energy Demand*. Cambridge, MA, EE.UU.: MIT Press.
- Ramsey, J., R. Rasche y B. Allen (1975). "An Analysis of the Private and Commercial Demand for Gasoline." *Review of Economics and Statistics* 57: 502-7.
- Rice, P. y V.K. Smith (1977). "An Econometric Model for the Petroleum Industry." *Journal of Econometrics* 6: 263-87.
- Takeuchi, J. (1974). "CIPEC and the Copper Export Earnings of Members Countries." Working Paper IBRD, Julio.
- Verleger, P.K. y D. Sheehan (1973). "A Study of the Quarterly Demand for Gasoline and Impacts of Alternative Gasoline Taxes." Reporte preparado para la Agencia de Protección del Ambiente, Data Resources, Inc., Lexington, Massachusetts, EE.UU.
- Vial, J. (1988). "An Econometric Study of the World Copper Market." Ph.D. Dissertation, University of Pennsylvania, Nota Técnica N°112, Cieplan.
- Vial, J. (2004). "Modeling Commodity Markets in the Global Economy: Familiar Findings and New Strategies." Working Paper N°18, Columbia University.

APÉNDICE

Las elasticidades que aparecen en el cuadro 2 fueron calculadas a partir de la siguiente tabla, de acuerdo con la forma específica de cada ecuación.

Modelo	Especificación	Elasticidad de LP
AR Simple:	$y_t = a + bx_t + cy_{t-1}$	$\varepsilon_{LP} = \frac{b}{1-c}$
AR con errores AR(1):	$y_t = a + bx_t + cy_{t-1} + dAR(1)$	$\varepsilon_{LP} = \frac{b}{1-(c+d+cd)}$
Simple con errores AR(1):	$y_t = a + bx_t + dAR(1)$	$\varepsilon_{LP} = \frac{b}{1-d}$
Rezagos distribuidos ADL(1,1):	$y_t = a + bx_t + cy_{t-1} + ex_{t-1}$	$\varepsilon_{LP} = \frac{b+e}{1-c}$
Corrección de Errores:	$\Delta y_t = a' + b'\Delta x_t + c'(y_{t-1} - e'x_{t-1})$	$\varepsilon_{LP} = \frac{e'}{c'}$