

# Ciclo económico y minería del cobre en Chile

*Fernando Fuentes H. y Carlos J. García*

## RESUMEN

En el presente artículo se “endogeniza” la oferta de cobre, incorporando la demanda de insumos del sector minero correspondiente a otros bienes de la economía —específicamente, bienes intermedios— y también energía, en un modelo de *equilibrio general* dinámico estocástico (DSGE) para una muestra del período 2003-2013. La estimación del modelo revela que un aumento de un 1% del precio del cobre causa un incremento de un 0,16% en el producto interno bruto (PIB) en cinco años. La principal contribución del estudio es mostrar que, si se considera al sector minero integrado al resto de la economía, en lugar de suponer —como es usual— que constituye un enclave, los efectos del precio del cobre en la economía chilena por lo menos se duplican.

---

## PALABRAS CLAVE

Ciclos económicos, desarrollo económico, industria del cobre, minería, modelos econométricos, Chile

## CLASIFICACIÓN JEL

E17, E27, E37, L72

## AUTORES

Fernando Fuentes H. es Profesor Asistente de la Facultad de Economía y Negocios del Instituto Latinoamericano de Doctrina y Estudios Sociales (ILADES), Universidad Alberto Hurtado (UAH), Santiago, Chile. [ffuentes@uahurtado.cl](mailto:ffuentes@uahurtado.cl)

Carlos J. García es Profesor Asociado de la Facultad de Economía y Negocios del Instituto Latinoamericano de Doctrina y Estudios Sociales (ILADES), Universidad Alberto Hurtado (UAH), Santiago, Chile. [cgarcia@uahurtado.cl](mailto:cgarcia@uahurtado.cl)

# I

## Introducción

El objetivo principal de este estudio es medir la contribución del sector minero en el ciclo de la economía chilena mediante la construcción y estimación de un modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE)<sup>1</sup>, que explicita las conexiones de este sector con el resto de los sectores productivos.

En primer término, cabe destacar que existe una vasta literatura de modelos DSGE para economías pequeñas y abiertas, en que se analizan los efectos en la economía del precio de un *commodity* minero, suponiendo que la producción (oferta) de dicho *commodity* es exógena. Ejemplos de estos trabajos son los de Dib (2008); Bems y de Carvalho Filho (2011); Bodenstein, Erceg y Guerrieri (2011); García, Restrepo y Tanner (2011); Lama y Medina (2012); Natal (2012); y García y González (2014). Una perspectiva abstracta similar es también común en los modelos DSGE desarrollados por varios bancos centrales, incluidos los de Australia (Jääskelä y Nimark, 2008); el Canadá (Murchison y Rennison, 2006); Nueva Zelanda (Lees, 2009); Chile (Medina y Soto, 2007), y España (Andrés, Burriel y Estrada, 2006).

En los modelos en que se incorpora la producción del *commodity* en forma exógena, toda la influencia de este en el modelo DSGE queda reducida a las fluctuaciones de su precio. Al respecto, hay dos formas de modelar este precio, como un *shock* exógeno (véase, por ejemplo, García y González, 2014) o como un valor determinado endógenamente por las estructuras que representan al resto del mundo en el modelo (Laxton y Pesenti, 2003). En este último caso, se debe modelar la economía

internacional completa y no solo el país en cuestión, por esta razón en la literatura de los últimos años la primera alternativa ha sido más popular que la segunda.

Como alternativa a lo descrito, la literatura en que se endogeniza la producción de un *commodity* minero en un modelo DSGE es muy escasa. Dos artículos seminales en esta dirección son los de Gross y Hansen (2013) y Veroude (2012), quienes introducen en un modelo DSGE simple, sin fricciones, sin sector externo y solo calibrado, elementos de la vasta literatura de extracción óptima<sup>2</sup>. En ambos artículos se comienza por suponer una función de producción para la extracción de mineral que depende del trabajo, el capital *K* y el acervo de mineral *R*. De este modo, las firmas mineras están sujetas a dos restricciones; la primera concierne a la formación de capital, y la segunda a la reducción de las reservas de mineral, la que puede ser expandida por descubrimientos de mineral. Sin embargo, el punto más destacado de estos artículos es que al endogeneizar la producción se abre la posibilidad de que el sector minero demande también recursos del resto de la economía. En otras palabras, el sector minero deja de ser un “enclave” y se “integra” a los otros sectores de la economía, multiplicándose los efectos de la minería en la economía.

En este artículo se sintetizan ambos enfoques. Por una parte, se considera un modelo DSGE completo, donde se modela el sector externo y las fricciones nominales y reales de corto plazo, y por otra, se endogeniza la oferta en la producción de cobre, incorporando la demanda de insumo del sector minero en el resto de la economía. Además, el modelo es estimado con econometría bayesiana con tal de obtener una medida empírica del aporte del sector minero en los últimos diez años de la economía chilena (información trimestral del período 2003-2013), centrando el análisis en dos variables clave: el crecimiento del producto interno bruto (PIB) y el tipo de cambio real.

El presente artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección II se resume la correlación entre minería y ciclo económico. En la sección III se presenta el modelo DSGE y en la sección IV se entregan los resultados. Las conclusiones del estudio se presentan en la sección V.

□ Se agradecen los comentarios de José Tomás Morel, Jorge Cantallopis y un árbitro anónimo. Cualquier error es de exclusiva responsabilidad de los autores.

<sup>1</sup> Trabajos recientes, pero en los que se usa una metodología diferente a la de este artículo, son los de Aroca (2000), De Gregorio (2009) y Álvarez y Fuentes (2004) que analizan el crecimiento sectorial de la minería, vinculándolo a la ventaja comparativa de Chile en la extracción de minerales. Otras investigaciones se concentran en las repercusiones económicas sectoriales de la minería. Este es el caso de Aroca (2000), Acevedo y otros (2006) y COCHILCO (2013) donde, sobre la base de una matriz de insumo-producto, se calculan las elasticidades del sector de la minería con respecto a los otros sectores económicos. Meller (2013) presenta un modelo econométrico que relaciona, en una ecuación reducida, el crecimiento de la economía chilena con la actividad minera. Sus resultados indican que cuanto más se expanden las exportaciones de cobre, más crece la economía, refutando, según este estudio, la hipótesis de enfermedad holandesa que podría haber causado el auge del sector del cobre en la última década.

<sup>2</sup> En esta literatura se trata de determinar hasta cuándo es óptima la extracción de un recurso no renovable (véase, por ejemplo, Bohn y Deacon (2000)).

## II

### Sector minero del cobre y ciclo económico chileno

En esta sección se presenta evidencia sobre las correlaciones dinámicas entre el sector minero y el ciclo económico de la economía chilena. La muestra utilizada, dependiendo de la disponibilidad de datos, fue idealmente de frecuencia trimestral y abarcó desde el año 2000 hasta 2013.

Se ha optado por usar el tipo de análisis indicado de correlaciones, debido a que: permite visualizar la interacción entre el sector minero y el ciclo económico de Chile en la última década; entrega información adicional respecto de los trabajos antes citados en relación con el impacto del sector minero en la economía; y, por sobre todo, representa una primera aproximación del análisis que se llevará a cabo en el contexto de la estimación del modelo DSGE, en que la producción del sector minero se incorpora endógenamente.

Las correlaciones cruzadas entre la serie económica que representa el sector minero  $m$  (precio del cobre, PIB minero o ambos) y la serie macroeconómica  $y$  (PIB, consumo, tipo de cambio real, inversión y otros) se miden de la siguiente forma:

$$r_{m,y}(l) = \frac{C_{m,y}(l)}{\sqrt{C_{m,m}(0)}\sqrt{C_{y,y}(0)}} \quad l = 0, +1, +2, \dots \quad (1)$$

donde:

$$C_{m,y}(l) = \sum_{t=1}^{T-l} ((m_t - \bar{m})(y_{t+l} - \bar{y})) / T \quad l = 0, 1, 2, \dots$$

$C_{m,y}(l)$  covarianza entre  $m$  e  $y$ .

$C_{m,m}(0)$  varianza de  $m$ .

$C_{y,y}(0)$  varianza de  $y$ .

Lo que la ecuación (1) permite estimar es si las variables que representan al sector minero “adelantan” los movimientos de las series macroeconómicas, coinciden con dichos movimientos en forma contemporánea o simplemente no se relacionan con ellos. De esta manera, se establece que la variable minera  $m$  antecede al ciclo de una variable macroeconómica por  $T-l$  períodos (trimestres o años), si dicha correlación es significativa (positiva o negativa) para un  $T-l > 0$  (García, Jaramillo y Selaive,

2007). La significancia estadística de una correlación específica, es decir, si esta correlación difiere de cero, se mide analizando si el valor de la correlación está o no fuera de una banda de confianza de dos desviaciones estándares, representada por:  $\pm 2/\sqrt{N}$ , donde  $N$  es el número de observaciones.

En el cuadro 1 se miden las correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y los agregados variables macroeconómicos: consumo privado, inversión privada, exportaciones e importaciones, todo medido en términos reales. Todas las variables fueron expresadas en tasas de crecimiento trimestral<sup>3</sup>. Estas correlaciones indican que los crecimientos futuros del consumo, el PIB, la inversión y las importaciones covarían positivamente con variaciones presentes en el precio del cobre. No obstante, es importante aclarar que el análisis de esta sección es solo de comovimiento entre variables y no de causalidad. Asimismo, es ilustrativo corroborar que el precio del cobre “adelanta” en forma débil<sup>4</sup>, pero positivamente, a variables como la inversión agregada.

Por el contrario, las exportaciones totales no muestran ningún tipo de comovimiento futuro con el precio del cobre. Este punto es relevante, porque la correlación dinámica tampoco es negativa, lo que sería un indicador, por ejemplo, de síntomas de la enfermedad holandesa, es decir, el fenómeno asociado a que un precio muy alto en el cobre podría estar apreciando el tipo de cambio real y con ello causando pérdida de competitividad al sector industrial.

En el cuadro 2 se muestran los resultados de las correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y niveles de PIB según rama de actividad económica. Este precio covaría positivamente con el sector comercial, en primer lugar, y luego con el sector industrial. Aunque es importante hacer notar que la correlación con el sector industrial y el comercial no necesariamente indica que el sector minero pueda afectar positivamente a estos

<sup>3</sup> Una alternativa es usar el componente cíclico de la descomposición que hace el filtro de Hodrick-Prescott (García, Jaramillo y Selaive, 2007; y Restrepo y Soto, 2006).

<sup>4</sup> En adelante, “débil” debe entenderse como una correlación estadísticamente significativa, pero muy cercana a la banda de confianza.

CUADRO 1

## Correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y agregados macroeconómicos

| Adelantos | PIB                 | Inversión           | Consumo             | Importaciones       | Exportaciones |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| 0         | 0,2937              | 0,1904              | 0,3835 <sup>a</sup> | 0,4512 <sup>a</sup> | 0,1554        |
| 1         | 0,3206 <sup>a</sup> | 0,4203 <sup>a</sup> | 0,3614 <sup>a</sup> | 0,5708 <sup>a</sup> | 0,1168        |
| 2         | 0,2073              | 0,3018              | 0,344 <sup>a</sup>  | 0,375 <sup>a</sup>  | 0,0982        |
| 3         | 0,0892              | 0,024               | 0,2043              | -0,0009             | 0,1235        |
| 4         | 0,1085              | 0,067               | 0,1617              | -0,116              | -0,0797       |
| 5         | 0,1622              | 0,0108              | 0,0893              | 0,0291              | 0,1754        |
| 6         | -0,1683             | -0,0088             | -0,1586             | -0,0656             | -0,1762       |
| 7         | -0,116              | 0,1954              | -0,0876             | 0,0458              | -0,0793       |
| 8         | 0,0827              | 0,1532              | -0,0661             | 0,0885              | 0,0465        |
| 9         | 0,0704              | -0,0134             | 0,0109              | -0,0995             | 0,0425        |
| 10        | -0,0493             | -0,0072             | -0,1058             | -0,135              | -0,0886       |
| 11        | -0,2165             | -0,2155             | -0,1847             | -0,2669             | -0,2138       |
| 12        | -0,1457             | -0,1611             | -0,0875             | -0,0769             | -0,0872       |
| 13        | -0,11               | -0,079              | -0,0837             | -0,0323             | 0,0885        |
| 14        | -0,1072             | -0,0961             | -0,011              | -0,0107             | 0,0442        |
| 15        | -0,0836             | -0,2022             | -0,0872             | -0,0378             | 0,0141        |
| 16        | -0,0427             | 0,0193              | -0,0162             | -0,0462             | -0,1344       |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de fuentes indicadas en el anexo 2.

Nota: PIB: Producto interno bruto.

<sup>a</sup> Significativo, mayor que dos errores estándar.

CUADRO 2

## Correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y niveles de PIB según rama de actividad económica

|    | Agrícola | Comercial            | Industria           | Construcción | Transporte           |
|----|----------|----------------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 0  | 0,0541   | 0,4254 <sup>a</sup>  | 0,3835 <sup>a</sup> | 0,2145       | 0,1253               |
| 1  | 0,2793   | 0,3213 <sup>a</sup>  | 0,3614 <sup>a</sup> | 0,2398       | 0,2316               |
| 2  | 0,0023   | 0,2837 <sup>a</sup>  | 0,344 <sup>a</sup>  | 0,1318       | 0,3091 <sup>a</sup>  |
| 3  | -0,1391  | 0,2115               | 0,2043              | 0,0443       | 0,0914               |
| 4  | 0,0821   | 0,1765               | 0,1617              | -0,0559      | 0,1263               |
| 5  | 0,2889   | 0,016                | 0,0893              | 0,1723       | 0,045                |
| 6  | 0,0356   | -0,3144 <sup>a</sup> | -0,1586             | -0,0085      | -0,3754 <sup>a</sup> |
| 7  | -0,1641  | 0,01                 | -0,0876             | 0,2086       | -0,2536              |
| 8  | -0,0475  | 0,0411               | -0,0661             | 0,1244       | 0,0651               |
| 9  | -0,0109  | 0,0358               | 0,0109              | 0,0414       | 0,1082               |
| 10 | 0,0533   | -0,1916              | -0,1058             | 0,0219       | 0,0007               |
| 11 | -0,1664  | -0,1448              | -0,1847             | -0,1833      | -0,2772 <sup>a</sup> |
| 12 | -0,0656  | -0,1104              | -0,0875             | -0,0954      | -0,101               |
| 13 | 0,132    | -0,1883              | -0,0837             | -0,1429      | -0,1712              |
| 14 | -0,097   | -0,159               | -0,011              | -0,0557      | -0,1168              |
| 15 | -0,0181  | -0,0456              | -0,0872             | -0,0481      | -0,0861              |
| 16 | -0,0533  | 0,0603               | -0,0162             | 0,0004       | 0,0053               |

**Fuente:** Elaboración propia.

Nota: PIB: Producto interno bruto.

<sup>a</sup> Significativo, mayor que dos errores estándar.

sectores en términos de causalidad. En efecto, también podría existir una tercera variable o fuerza económica (por ejemplo, el ciclo económico internacional) que esté afectando a todas las variables en la misma dirección. Por último, no hay evidencia de que el precio del cobre covarie ni con la construcción ni con el sector agrícola.

En el cuadro 3 se aprecian, para datos anuales, las correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y los gastos e ingresos fiscales, expresados como porcentajes del PIB. Como era de esperar, existe una correlación contemporánea entre el precio del cobre y los ingresos fiscales provenientes del cobre. Sin embargo, un resultado

que resalta es que cambios en el precio del cobre adelantan aumentos en los diferentes gastos del fisco como porcentaje del PIB. Este resultado es coherente con una regla fiscal que indica ir gastando los ingresos del cobre a través del tiempo (García, Jaramillo y Selaive, 2007) y no inmediatamente.

En el cuadro 4 se observan, para datos trimestrales, las correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y variables del sector externo, medidos como porcentajes del PIB (cuenta corriente e inversiones extranjeras), junto con las tasas de crecimiento en dólares de las exportaciones. Todas las variables fueron medidas en dólares de cada año, incluso la cuenta corriente y la inversión extranjera antes de ser divididas por el PIB en dólares. Los resultados

indican que el precio del cobre adelanta por muchos períodos la inversión extranjera sobre el PIB. Además, dicho precio coincide contemporáneamente con un superávit de cuenta corriente. Ambos resultados son coherentes con el hecho de que los precios más altos del cobre de los últimos años han atraído inversiones extranjeras, y con la evidencia de que un buen precio permite alcanzar un superávit de cuenta corriente a través de su efecto en la balanza comercial.

Por otra parte, la correlación dinámica positiva entre el precio del cobre y el aumento de las exportaciones agrícolas e industriales en dólares puede estar señalando, como ya se mencionó, que existe una tercera variable o fuerza económica que ha impulsado (o contraído)

CUADRO 3

## Correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y gastos e ingresos fiscales

| Adelantos | Gasto personas      | Transferencias      | Gasto total | Ingresos tributarios | Ingresos del cobre  |
|-----------|---------------------|---------------------|-------------|----------------------|---------------------|
| 0         | -0,2766             | 0,4325              | -0,3055     | 0,5138               | 0,5714 <sup>a</sup> |
| 1         | 0,0615              | 0,5707 <sup>a</sup> | 0,0303      | 0,4515               | 0,2084              |
| 2         | 0,3703              | 0,681 <sup>a</sup>  | 0,3645      | 0,1567               | -0,0858             |
| 3         | 0,5482 <sup>a</sup> | 0,6368 <sup>a</sup> | 0,5444      | -0,0019              | -0,3263             |
| 4         | 0,5762 <sup>a</sup> | 0,5032              | 0,5389      | 0,1354               | -0,4802             |
| 5         | 0,4447              | 0,2405              | 0,4037      | 0,0663               | -0,4854             |
| 6         | 0,258               | -0,0438             | 0,2174      | 0,0221               | -0,3859             |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: PIB: Producto interno bruto.

<sup>a</sup> Significativo, mayor que dos errores estándar.

CUADRO 4

## Correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y variables del sector externo

|    | Cuenta corriente     | Inversión extranjera | Exportación industria | Exportación agrícola | Exportación minera  |
|----|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| 0  | 0,5107 <sup>a</sup>  | 0,5518 <sup>a</sup>  | 0,677 <sup>a</sup>    | 0,4815 <sup>a</sup>  | 0,6292 <sup>a</sup> |
| 1  | 0,3196 <sup>a</sup>  | 0,5276 <sup>a</sup>  | 0,3476 <sup>a</sup>   | 0,0394               | 0,0052              |
| 2  | 0,0751               | 0,5064 <sup>a</sup>  | 0,0146                | 0,0709               | -0,1842             |
| 3  | -0,1319              | 0,4571 <sup>a</sup>  | -0,1035               | -0,0123              | -0,0632             |
| 4  | -0,2508              | 0,4869 <sup>a</sup>  | 0,078                 | 0,1017               | -0,1164             |
| 5  | -0,2913              | 0,5075 <sup>a</sup>  | 0,2427                | -0,1207              | 0,161               |
| 6  | -0,3237 <sup>a</sup> | 0,4959 <sup>a</sup>  | -0,0977               | -0,2111              | -0,0245             |
| 7  | -0,3583 <sup>a</sup> | 0,5136 <sup>a</sup>  | 0,0575                | 0,2176               | 0,0813              |
| 8  | -0,3626 <sup>a</sup> | 0,468 <sup>a</sup>   | 0,1426                | 0,1343               | -0,0081             |
| 9  | -0,3392 <sup>a</sup> | 0,4197 <sup>a</sup>  | -0,0059               | 0,0318               | -0,0931             |
| 10 | -0,2236              | 0,448 <sup>a</sup>   | -0,411                | -0,3212              | -0,2498             |
| 11 | -0,0595              | 0,4058 <sup>a</sup>  | -0,2698               | -0,0558              | -0,1683             |
| 12 | 0,1303               | 0,353 <sup>a</sup>   | 0,0791                | -0,0697              | 0,037               |
| 13 | 0,2782               | 0,2565               | 0,0412                | 0,1024               | 0,1962              |
| 14 | 0,3507 <sup>a</sup>  | 0,1469               | -0,0011               | 0,1173               | 0,1062              |
| 15 | 0,3526 <sup>a</sup>  | 0,0988               | -0,0018               | -0,0484              | -0,1463             |
| 16 | 0,3228 <sup>a</sup>  | 0,0646               | -0,0298               | 0,0678               | -0,0459             |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cuenta corriente e inversión extranjera se expresan como porcentajes del PIB y las exportaciones como tasas de crecimiento trimestral. El precio del cobre fue expresado de diferentes formas. En la correlación con la inversión extranjera se usó la tendencia del filtro HP (Hodrick- Prescott), en la cuenta corriente se usó la parte cíclica del filtro HP, y en las portaciones se usó la tasa de crecimiento trimestral.

<sup>a</sup> Significativo, mayor que dos errores estándar.

no solo el precio del cobre, sino también todo tipo de exportaciones. En este contexto, parece razonable suponer que las fluctuaciones de la economía internacional pudieran ser esta tercera variable o fuerza, representada, primero, por el largo ciclo de crecimiento registrado hasta 2007, y después, por la fuerte contracción derivada de la crisis financiera internacional que comenzó en 2008 (y su posterior recuperación).

En el cuadro 5 se evidencian las correlaciones dinámicas entre el precio del cobre y variables del mercado laboral y tipo de cambio real (TCR). Los resultados indican claramente que las correlaciones entre las variables del mercado laboral y el precio del cobre son estadísticamente iguales a cero o contraintuitivas (la correlación con los salarios reales es igual a cero o negativa). Esta evidencia está en línea con la gravitación del empleo del sector minero en el empleo total. El sector

minero es marginal, en torno del 3%, magnitud muy pequeña en comparación con los principales sectores no mineros de la economía (industria, comercio y construcción), que suman casi el 55% del empleo total de la economía chilena. Por lo tanto, es muy probable que el sector minero no tenga efectos directos sobre el empleo, la tasa de desempleo y la evolución de los salarios reales a nivel nacional.

Además, y como era de esperar, en el cuadro 5 se indica que existe una correlación negativa entre el precio del cobre y el tipo de cambio real. Aunque este comovimiento es muy débil y solo contemporáneo. Este resultado es consistente con evidencia sistemática a nivel nacional e internacional que muestra que el precio de los *commodities* no predice las fluctuaciones del tipo de cambio (Meese y Rogoff, 1983; Chen, Rogoff y Rossi, 2010; García, González y Moncado, 2013).

CUADRO 5

**Correlaciones dinámicas entre el precio del cobre, variables del mercado laboral y tipo de cambio real (TCR)**

| Adelantos | Tasa de desempleo | Empleo               | Costo mano de obra real | Remuneraciones reales | TCR     |
|-----------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| 0         | 0,1684            | 0,0221               | 0,0399                  | 0,0685                | -0,408  |
| 1         | 0,2077            | 0,1766               | -0,3467 <sup>a</sup>    | -0,3344 <sup>a</sup>  | 0,2214  |
| 2         | 0,1408            | 0,1346               | -0,0801                 | -0,0833               | 0,1231  |
| 3         | -0,0604           | 0,1187               | 0,0587                  | 0,0758                | 0,0125  |
| 4         | -0,1576           | 0,1195               | 0,0411                  | 0,0647                | 0,0676  |
| 5         | -0,1301           | 0,019                | -0,1298                 | -0,1106               | 0,0051  |
| 6         | -0,1019           | -0,3123 <sup>a</sup> | -0,0136                 | 0,0188                | -0,1419 |
| 7         | -0,1259           | -0,1416              | 0,0925                  | 0,1247                | -0,2438 |
| 8         | -0,0846           | 0,213                | -0,0766                 | -0,0586               | 0,0775  |
| 9         | -0,0851           | 0,0155               | -0,1327                 | -0,1324               | 0,1643  |
| 10        | -0,077            | -0,2929              | -0,0592                 | -0,023                | 0,1641  |
| 11        | -0,1502           | -0,0561              | 0,074                   | 0,099                 | -0,1046 |
| 12        | -0,1709           | 0,2484               | 0,1139                  | 0,1089                | -0,0615 |
| 13        | -0,0767           | -0,054               | -0,0062                 | 0,0084                | 0,0022  |
| 14        | -0,0058           | -0,4331 <sup>a</sup> | -0,0286                 | 0,0174                | -0,0297 |
| 15        | -0,0102           | 0,0365               | -0,0569                 | -0,0409               | 0,1145  |
| 16        | 0,0101            | 0,5146 <sup>a</sup>  | 0,008                   | -0,0157               | 0,0151  |

**Fuente:** Elaboración propia.

<sup>a</sup> Significativo, mayor que dos errores estándar.

Como conclusión, cabe destacar que los hechos estilizados de la presente sección indican una serie de elementos que deben ser considerados en el momento de modelar el sector minero en un modelo macro DSGE:

- El precio del cobre parece ser el elemento clave en resumir los efectos del sector minero en el resto de la economía.

- El precio del cobre se adelanta a cambios en el PIB, la inversión privada, el consumo y las importaciones.
- Este precio también se adelanta a aumentos en el gasto fiscal, aunque ello ocurre tres años después del incremento del precio del cobre.
- El precio del cobre también se adelanta a la inversión extranjera.

- El sector minero no tiene importantes efectos en el mercado laboral a nivel nacional. En tal sentido, este sector funcionaría como un enclave con su propia fuerza laboral concentrada en las regiones I, II, III y IV.
- Los efectos en el tipo de cambio real son negativos, pero no hay evidencia de que los cambios del precio del cobre anticipen cambios en el tipo de cambio real.
- Si bien una caída del tipo de cambio real podría reducir la competitividad del sector exportador no minero, la evidencia encontrada en este estudio no señala que la actividad minera explique caídas relevantes en el tipo de cambio.

### III

## Modelo macroeconómico

En esta sección se presentan las modificaciones clave realizadas en el modelo estándar DSGE (véase, por ejemplo, García y González, 2014) que se debieron efectuar para poder introducir apropiadamente el sector minero<sup>5</sup>. Las modificaciones fueron de dos tipos: por una parte, se modeló endógenamente la producción del sector minero, y por otra, como resultado de este cambio, se sumó un nuevo canal de integración entre este sector y el resto de la economía: la demanda por insumos intermedios. De esta manera, se puede constatar que dados los supuestos del modelo empleado en el estudio, los insumos importados se transforman en bienes intermedios que satisfacen las demandas de consumo, la inversión del propio sector intermedio y del gobierno, y la inversión del sector minero. Por el contrario, en el modelo estándar solo se enfatiza el aporte fiscal directo del sector minero, descontando las remesas de utilidades de las empresas mineras de origen externo.

En virtud de lo señalado, las modificaciones al modelo DSGE estándar son las dos que se exponen a continuación:

#### 1. Sector minero

A diferencia del modelo DSGE estándar, se supuso que la producción de cobre no es exógena. Por el contrario, se asume que la producción de cobre  $QCU_t$  depende del trabajo  $L_t^{CU}$ , el capital  $K_t^{CU}$  y la energía  $E_t$ .

$$QCU_t = A_t^{CU} L_t^{CU\alpha} K_t^{CU\beta} E_t^{1-\alpha-\beta} \quad (2)$$

<sup>5</sup> En el anexo I se presenta el detalle de las ecuaciones del modelo empleado.

donde  $A_t^{cu}$  representa la disponibilidad del mineral; por ejemplo, mayores distancias de acarreo y menores leyes de mineral. Así, una caída de esta variable produce una también una reducción del PIB minero a menos que se aumenten los insumos productivos. En términos logarítmicos, se supone que esta variable adopta la siguiente forma:

$$a_t = (\rho_{A\_COBRE})a_{t-1} + \epsilon_t^{EE} \quad (3)$$

La incorporación de estos tres insumos ( $L_t^{CU}$ ,  $K_t^{CU}$  y  $E_t^{CU}$ ) hace más compleja la modelación del modelo DSGE en varias dimensiones. Por lo tanto, se debe realizar una serie de supuestos para poder simplificar la mencionada modelación.

Primero, se supuso que el sector minero utiliza un compuesto de energía, formado por combustible (petróleo) y energía eléctrica. Para ambos insumos, se considera que el sector minero es un tomador de precio.

$$E_t = OIL_t^\delta EE_t^{1-\delta} \quad (4)$$

donde  $OIL$  es el combustible y  $EE_t$  es la energía eléctrica. De este modo, dado un cierto nivel de producción y, por lo tanto, de energía total ( $E_t$ ), se pueden obtener por separado las demandas de combustible y de energía eléctrica en función de los respectivos precios. La modelación del sector eléctrico es simplificada, y se supone que el sector minero no puede afectar el precio de la energía eléctrica. Se reconoce que en una modelación más realista, pero también más compleja, se consideraría que el sector minero, por su tamaño relativo dentro de la economía chilena, podría afectar el precio de la energía eléctrica

y, por consiguiente, el costo de todas las actividades productivas del país. Se deja para futuras investigaciones explicitar este canal adicional desde la minería al resto de la economía. En términos logarítmicos, se asume que el precio de la energía eléctrica sigue la siguiente forma:

$$p_t^{EE} = (\text{rho\_PEE})p_{t-1}^{EE} + \varepsilon_t^{EE} \tag{5}$$

No obstante lo indicado, para mejorar el ajuste del modelo DSGE se supuso además que existen rezagos en las respuestas no solo de la demanda de energía, sino de todos los insumos a los respectivos precios<sup>6</sup>.

De esta manera, la demanda por un insumo genérico  $J$ , que se denomina  $\text{insumo}_{J,t}$ , medido en términos

log linealizado, depende positivamente del nivel de producción, definido por  $\text{producción}_t$ , negativamente del precio del insumo expresado en términos reales, definido por  $P_{J,t}$ , y de un rezago, definido por  $\text{insumo}_{J,t-1}$ :

$$\text{insumo}_{J,t} = \text{pmg\_insumo}_J\text{-COBRE}(\text{producción}_t - p_{J,t}) + (1 - \text{pmg\_insumo}_J\text{-COBRE})\text{insumo}_{J,t-1} \tag{6}$$

Segundo, las firmas productoras de cobre compran capital a otras firmas en cada período  $t$ . Si bien en la realidad puede que algunas firmas produzcan también algunos de sus bienes de capital, se asume en este estudio, y solo por simplicidad, que estas son empresas separadas.

También se supone por igual motivo que al final de cada período  $t$  las firmas productoras de cobre puede revender el capital comprado a las firmas productoras de bienes de capital.

De esta manera, la función objetivo de la empresa que produce cobre es:

<sup>6</sup> Berger, Caballero y Engel (2014) demuestran que esta forma funcional es equivalente a suponer una empresa que toma sus decisiones de contratación de insumo de forma irregular (*lumpy*).

$$\begin{aligned} \max_{\{K_{t+k}^{CU}, L_{t+k}^{CU}, E_{t+k}\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} E_t \left\{ \underbrace{\Lambda_{t,t+k} \left( P_{t+k}^{CU} A_{t+k}^{CU} L_{t+k}^{CU\tilde{\alpha}} K_{t+k}^{CU\tilde{\beta}} E_{t+k}^{1-\tilde{\alpha}-\tilde{\beta}} + (1 - \delta^{CU}) K_{t+k}^{CU} Q_{t+k}^{CU} \right)}_{\text{INGRESOS}} (1 - t_t^u) \right\} \\ - \sum_{k=0}^{\infty} E_0 \left\{ \underbrace{\Lambda_{t,t+k} \left( R_{F,t+k} Q_{t+k-1}^{CU} K_{t+k}^{CU} + W_{t+k}^{CU} L_{t+k}^{CU} + P_{t+k}^E E_{t+k} \right)}_{\text{COSTOS}} (1 - t_t^u) \right\} \end{aligned} \tag{7}$$

donde  $\Lambda_{t,t+k}$  es el factor estocástico de descuento,  $\delta^{CU}$  la tasa de depreciación,  $P_{t+k}^{CU}$  el precio del cobre,  $W_{t+k}^{CU}$  los salarios del sector,  $P_{t+k}^E$  el precio de la energía (un índice compuesto de los precios del petróleo y de la energía eléctrica),  $Q_{t+k}^{CU}$  el precio del capital,  $R_{F,t+k}$  es el retorno del capital e  $t_t^u$  impuestos a las ganancias. De la ecuación (7) se obtienen las demandas de capital, trabajo y energía total.

Por otra parte, las firmas productoras de capital compran el capital usado a las firmas productoras de bienes intermedios, reparan el capital depreciado y construyen nuevo capital, donde  $I_t^{CU}$  es el nuevo capital creado. Luego, el problema de maximización de las firmas productoras de capital es:

$$\max_{\{I_{t+k}^{CU}\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} E_t \left\{ \Lambda_{t,t+k} \left[ (Q_{t+k}^{CU} - 1) I_{t+k}^{CU} - t_t^u Q_{t+k}^{CU} I_{t+k}^{CU} - f \left( \frac{I_{t+k}^{CU}}{I_{t+k-1}^{CU}} \right) I_{t+k}^{CU} \right] \right\} \tag{8}$$

donde  $f$  es una función creciente que representa los costos de ajuste de la inversión y  $K_{t+k+1}^{CU} = (1 - \delta^{CU}) K_{t+k}^{CU} + I_{t+k}^{CU}$ . De la ecuación (8) se obtiene la oferta de capital, que en conjunto con la demanda de capital (ecuación 7) permite determinar el precio del capital y el capital disponible para el próximo período.

Tercero, al igual que en el resto de la economía, se asume que existe rigidez parcial de los salarios (de acuerdo con Calvo, véanse también como ejemplo los detalles en García y González, 2014). En otras palabras, los salarios van cambiando a través del tiempo en forma exógena por dos fuentes. La fracción de salarios que se

reajusta directamente debido a cambios en los contratos (definida por  $xi\_w\_COBRE$ ) y, la otra fracción de salarios (definida por  $index\_w\_COBRE$ ), que siguen vigentes pero que se reajustan según la inflación pasada.

De la modelación de los salarios, se puede derivar una oferta de trabajo. Así, con este supuesto sobre los salarios, más la ecuación de demanda de trabajo proveniente de la ecuación (8), se obtienen el empleo y los salarios del sector minero. Solo por motivos de simplicidad, se asume que la utilidad marginal del consumo de las familias que trabajan en el sector minero es igual a la utilidad marginal del resto de las familias de la economía. Este supuesto es inocuo si se considera que el mercado laboral minero tiene efectos marginales en el mercado laboral agregado de la economía chilena (véase la sección II).

**2. El sector minero y el equilibrio general de la economía**

En los modelos DSGE estándar que toman la producción minera como exógena (véase, por ejemplo, García y González (2014)), la única conexión entre el sector minero y el resto de la economía se expresa a través del sector fiscal: una fracción del PIB del cobre se contabiliza directamente como ingresos fiscales; el resto son remesas al exterior.

En el presente estudio, por el contrario, se permite una conexión más amplia, ya que se asume de modo adicional que el sector minero también demanda bienes del resto de la economía, además de la energía eléctrica. Para ilustrar este punto, la ecuación (9) representa el equilibrio del mercado de bienes cuando se supone que la producción minera es exógena:

$$P_{m,t}Y_t = P_tC_t + P_tI_t + P_tG_t + P_tX_t \tag{9}$$

donde  $I_t$  es la inversión de bienes domésticos o intermedios (que no son *commodities*),  $Y_t$  es la producción de estos bienes,  $C_t$  es el consumo de los hogares,  $X_t$  son las exportaciones (demanda externa) y  $G_t$  es el gasto del gobierno en estos bienes.

A diferencia de lo señalado, en el presente artículo se supone que la inversión del sector minero  $I_t^{cu}$  se lleva a cabo en el mercado de bienes domésticos:

$$P_{m,t}Y_t = \underbrace{P_tC_t + P_tI_t + P_tG_t}_{\text{RESTO DE LA ECONOMÍA}} + \underbrace{P_tX_t}_{\text{SECTOR EXTERNO}} + \underbrace{P_tI_t^{cu}}_{\text{MINERÍA}} \tag{10}$$

Al respecto, si bien la integración del sector minero en el resto de la economía es un supuesto en el modelo, este está basado en la estructura productiva de la economía chilena. En efecto, en el cuadro 6 se señala el porcentaje de insumos que el sector de la minería del cobre requiere de la economía, que bordea el 70% en el período 2008-2011, dato obtenido de la matriz de insumo producto (Banco Central de Chile, 2013). Sin embargo, este supuesto que sirve para simplificar el análisis produce limitaciones en el estudio. En efecto, suponer que la conexión entre el sector minero y el resto de la economía solo se produce a través de las compras utilizadas en inversiones, subvalora el impacto final de la minería en el resto de la economía. Se reserva para futuras investigaciones la ampliación de las conexiones del sector del cobre con otros sectores de la economía.

CUADRO 6

**Insumos producidos por otros sectores de la economía requeridos por la minería del cobre**

| Años | Porcentaje |
|------|------------|
| 2008 | 0,66       |
| 2009 | 0,69       |
| 2010 | 0,68       |
| 2011 | 0,73       |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de información del Banco Central de Chile.

Por último, una vez agregadas cada una de las restricciones de las familias y las firmas, abstrayéndose de la producción de energía eléctrica para la minería, y considerando que el PIB minero ( $QCU_t$ ) se exporta completamente, se obtiene la restricción total de la economía:

$$\underbrace{P_tC_t + P_tI_t + P_tG_t + P_tI_t^{cu}}_{\text{GASTO}} + \underbrace{P_tCAJ_t}_{\text{COSTOS DE AJUSTES INVERSIÓN}} \leq \underbrace{P_{m,t}Y_t}_{\text{PRODUCCIÓN BIENES INTERMEDIOS}} - \underbrace{SX_tM_t - SX_tP_t^{OIL}OIL_t - SX_tP_t^{OIL}OIL_t^{cu}}_{\text{IMPORTACIONES INSUMOS Y COMBUSTIBLES}} + \underbrace{SX_t \frac{B_{t+1}^*}{R_t^*} - SX_tB_t^*}_{\text{CAMBIO EN LA DEUDA EXTERNA}} + \underbrace{\Gamma(SX_tP_t^{cu}QCU_t)}_{\text{INGRESOS DEL COBRE}} \tag{11}$$

donde  $SX_t$  es el tipo de cambio nominal,  $P_t^{OIL}$  el precio del petróleo,  $M_t$  las importaciones de insumos para la producción de bienes intermedios,  $B_t^*$  la deuda

externa,  $\tilde{R}_t^*$  la tasa de interés externa ajustada por premio por riesgo, y  $CAJ_t$  son los costos de ajuste totales de la inversión, es decir, tanto minera y como no minera.

En resumen, los gastos de la economía, incluidos los costos de ajustes de la inversión, se deben financiar con la

producción de bienes intermedios, neta de importaciones tanto de los insumos para los bienes intermedios y como los combustibles (incluida la fracción para el cobre), más el cambio en el financiamiento externo (cambios en la deuda externa) y los ingresos del cobre (aporte al PIB generado por el cobre menos las remesas al exterior).

## IV

### Estimación del modelo y principales resultados

En esta sección se mostrarán los detalles de los resultados de las estimaciones y simulaciones que permiten medir no solo el impacto de la minería del cobre en el resto de la economía, sino también cómo este sector en particular es afectado por variables clave como el precio del cobre, de la energía eléctrica y de los salarios.

Los ejercicios que se llevan a cabo son de tres tipos. Primero, se analiza cómo un *shock* de 1% en el precio del cobre afecta a las variables macroeconómicas de la economía chilena (elasticidad del sector minero). Segundo, se mide la contribución a la varianza del crecimiento del PIB de diferentes *shocks* económicos, entre ellos el precio del cobre y la disponibilidad del mineral. Finalmente, se examina cuál sería el impacto del precio del cobre en el resto de la economía, en caso de que la minería fuera un enclave, es decir, si este sector no estuviera integrado al resto de la economía y, por lo tanto, no demandara bienes intermedios de ella.

#### 1. Resultados de la estimación mediante el modelo DSGE<sup>7</sup>

El modelo macro DSGE se estima con econometría bayesiana, por lo que se deben establecer *a priori* sobre la distribución de los parámetros (valores *a priori* y luego, a través de técnicas econométricas estándares (máxima verosimilitud) y réplicas (simulación), se obtienen las distribuciones de los resultantes o estimaciones finales. Los valores *a priori* de los parámetros estimados fueron tomados de la literatura tradicional de modelos macros (véanse García y González, 2014 y García, González y Moncado, 2013)<sup>8</sup>. Se realizan dos estimaciones

independientes con un número alto de réplicas para asegurar su calidad, y se observa que en ambas la distribución de los parámetros converjan a valores similares (véase el gráfico A.3.1 del anexo 3).

En la estrategia de estimación del modelo macro se consideraron dos partes. Una primera, en que se calibran aquellos parámetros relacionados con el estado estacionario, y una segunda, en que se estiman solo los parámetros relacionados con la dinámica del modelo, es decir, cómo el modelo converge al estado estacionario después de un *shock*.

En la calibración se replicó el estado estacionario o equilibrio de largo plazo de la economía chilena, medido, por ejemplo, por razones tales como consumo a PIB, inversión a PIB o gasto de gobierno a PIB, entre otras. En el proceso de calibración es crucial obtener los valores para los parámetros de la función de producción del sector minero (ecuación (2))<sup>9</sup>. Estos parámetros representan las participaciones de cada uno de los insumos sobre la producción de cobre. En la calibración de estos parámetros se utilizó información proveniente de Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Comisión Nacional de Energía (CNE) y Banco Central de Chile. Los resultados de la calibración se muestran en el cuadro 7, en que las participaciones del capital (51%) y el trabajo (39%) son mayoritarias en la producción de cobre. Por otra parte, dentro de la energía total usada en ese sector (10%), la energía eléctrica es la mayoritaria con un 70% (véase la parte inferior del cuadro 7)<sup>10</sup>.

En definitiva, la calibración del modelo DSGE produce el siguiente estado estacionario o equilibrio de largo plazo para la economía chilena, que es coherente con la información que se dispone del Banco Central de Chile (véase el cuadro 8).

<sup>7</sup> Los datos empleados se presentan en el anexo 2.

<sup>8</sup> Los posteriores resultantes fueron obtenidos usando el algoritmo de Metropolis-Hastings basado en una cadena de Markov de 20.000 réplicas para construir la distribución estimada de los parámetros (posteriores). Estimaciones con 100.000 réplicas entregaron resultados similares.

<sup>9</sup> En el anexo 3 se presentan los parámetros para el resto de la economía.

<sup>10</sup> En el anexo 4 se presentan los detalles de la calibración de las funciones Cobb-Douglas del sector minero.

CUADRO 7

**Participación de los insumos y tipos de energía empleados en la producción de cobre**

| Parámetros        | Participación |
|-------------------|---------------|
| Trabajo           | 0,39          |
| Capital           | 0,51          |
| Energía           | 0,1           |
| Parámetros        | Participación |
| Combustibles      | 0,3           |
| Energía eléctrica | 0,7           |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de información de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), la Comisión Nacional de Energía (CNE) y el Banco Central de Chile.

CUADRO 8

**Estado estacionario del modelo DSGE**

| Estado estacionario        | Razón sobre PIB |
|----------------------------|-----------------|
| Consumo                    | 0,64            |
| Inversión intermedios      | 0,19            |
| Inversión cobre            | 0,06            |
| Gasto de gobierno          | 0,10            |
| Exportaciones intermedios  | 0,27            |
| Importaciones insumos      | 0,41            |
| Importaciones combustibles | 0,03            |
| PIB del cobre              | 0,17            |
| Carga tributaria           | 0,18            |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

Nota: PIB: Producto interno bruto.

A continuación se analizarán los parámetros asociados con el impacto de la minería del cobre<sup>11</sup> en la economía (véase el cuadro 9). En primer lugar, se observan las desviaciones estándar de los *shocks* que afectan a este sector. Al respecto, la mayor volatilidad proviene del propio precio del cobre y el petróleo, ambos en torno del 16% (siendo el petróleo un insumo importante en la producción de cobre). Asimismo, se tiene que estas dos variables representan en términos absolutos los *shocks* más volátiles que enfrenta la economía chilena según la estimación del modelo DSGE (véase el anexo 3). En seguida está el efecto del precio de la energía eléctrica y del *shock* que mide la disponibilidad del material (del cobre), con magnitudes más moderadas y comparables con otros *shocks* que afectan a la economía, es decir, en torno del 6% (véase el anexo 3).

En seguida, como se explicó con la ecuación (6), los parámetros (pmg's) miden en el corto plazo la sensibilidad de las demandas de cada insumo a la actividad y los precios en el sector minero. Como se observa en el cuadro 9, todos los parámetros pmg\_ están muy por debajo de 0,5, lo que indica una fuerte inercia en el sector minero

<sup>11</sup> En relación con las estimaciones de los parámetros que determinan la dinámica del modelo macro, se observa que en general muchos de los valores estimados están en línea con los valores encontrados en otros estudios (García y González, 2014 y García, González y Moncado, 2013). En el anexo A3 se presentan en detalle las estimaciones de todos los parámetros del modelo macro.

CUADRO 9

**Parámetros relacionados con el impacto de la minería del cobre en la economía**

| Parámetros               | A priori media | Resultante media | Intervalo de confianza 90% |         | Distribución a priori | Desviación estándar a priori |
|--------------------------|----------------|------------------|----------------------------|---------|-----------------------|------------------------------|
| pmg_EE_EN_COBRE          | 0,5            | 0,2564           | 0,1317                     | 0,3676  | beta                  | 0,1                          |
| pmg_EN_COBRE             | 0,5            | 0,1423           | 0,0555                     | 0,2258  | beta                  | 0,1                          |
| pmg_L_COBRE              | 0,5            | 0,0848           | 0,051                      | 0,1188  | beta                  | 0,1                          |
| pmg_K_COBRE              | 0,5            | 0,5461           | 0,4031                     | 0,6778  | beta                  | 0,1                          |
| index_w_COBRE            | 0,9            | 0,9046           | 0,8335                     | 0,9712  | beta                  | 0,05                         |
| xi_w_COBRE               | 0,67           | 0,6216           | 0,5705                     | 0,6813  | beta                  | 0,05                         |
| rho_Oil                  | 0,9            | 0,8655           | 0,7959                     | 0,9337  | beta                  | 0,05                         |
| rho_Pcu                  | 0,9            | 0,8623           | 0,8377                     | 0,8915  | beta                  | 0,05                         |
| rho_A_COBRE              | 0,9            | 0,9045           | 0,8917                     | 0,9168  | beta                  | 0,01                         |
| rho_PEE                  | 0,5            | 0,8518           | 0,8016                     | 0,9022  | beta                  | 0,1                          |
| Desviación estándar:     |                |                  |                            |         |                       |                              |
| Precio del cobre         | 16,53          | 16,627           | 15,8637                    | 17,4668 | inv2                  | 0,5                          |
| Precio del petróleo      | 16,07          | 16,2808          | 15,608                     | 17,0067 | inv2                  | 0,5                          |
| Precio salarios mineros  | 0,9            | 0,5559           | 0,4213                     | 0,6845  | inv2                  | 0,5                          |
| Precio energía eléctrica | 6,84           | 6,9106           | 6,2696                     | 7,6251  | inv2                  | 0,5                          |
| A <sup>cu</sup>          | 3,59           | 7,2804           | 5,834                      | 8,6681  | inv2                  | 0,5                          |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

del cobre en lo que respecta a la contratación de nuevos insumos. Es decir, dentro de un trimestre, la decisión de demandar un insumo está muy influenciada por la decisión que se tomó en el período anterior, y el proceso de ajuste —entendido como el tiempo que se requiere para variar completamente la decisión de demanda de un insumo debido a un cambio en los precios y en el nivel de producción— dura en promedio cinco trimestres<sup>12</sup>.

En lo relativo a los salarios en el sector minero, según el modelo estos permanecen rígidos en alrededor de tres trimestres<sup>13</sup>, y presentan una indexación a la inflación pasada cercana a uno<sup>14</sup>. Este resultado está en línea con los obtenidos en el marco de la estimación de la dinámica de los salarios en el resto de la economía (véase el anexo 3).

Por último, todos los *shocks* que enfrenta este sector tienen una alta persistencia (parámetros  $\rho$ 's) por sobre el 0,8.

## 2. Elasticidad del sector minero del cobre

Con el objeto de medir el impacto del sector minero en la economía chilena se optó por analizar el efecto a través del tiempo (trimestres) de un *shock* en el precio del cobre de un 1% sobre todas las variables de la

economía chilena, suponiendo que ningún otro *shock* está afectándola. Esta forma de cuantificar el impacto se conoce como función de impulso y respuesta (IRF).

La información se presentará mediante un gráfico (trimestral) para definir la forma en que el precio del cobre afecta al resto de la economía, es decir, la historia que está detrás de un cambio en el precio del cobre. El gráfico está compuesto de subgráficos donde se muestra la evolución de las diferentes variables macroeconómicas después de un *shock* del precio del cobre de un 1% a través de los trimestres. Para poder comparar entre variables, todos los subgráficos tienen las mismas dimensiones en el eje vertical.

Luego, en un cuadro se resumirá de manera precisa el impacto del precio del cobre en las principales variables macroeconómicas a través de los años. Puesto que el modelo DSGE es lineal y fue estimado con datos en cambios porcentuales (diferencias de log multiplicadas por 100), los números del cuadro pueden interpretarse como elasticidades. De este modo, si se quiere saber cuál sería el efecto de un incremento de un 10% en el precio del cobre, hay que multiplicar por 10 los números presentados en dicho cuadro. Con este método es fácil cuantificar cualquier impacto en la economía chilena de un cambio del precio del cobre.

En el gráfico 1 se muestran los impulsos-respuestas de la economía a un *shock* en el precio del cobre de un 1%. Claramente, este *shock* es expansivo, es decir, produce un aumento del crecimiento del PIB, la inversión, el uso de energía eléctrica, el empleo y los salarios del sector minero. La forma en que se difunde en la economía chilena es la siguiente, confirmando el análisis de correlaciones presentado al comienzo de este trabajo.

<sup>12</sup> 3,9 trimestres =  $1/(1-0,74)$ , donde 0,74 es el rezago promedio de los parámetros  $(1 - \text{pmg}_s)$ .

<sup>13</sup> 2,65 trimestres =  $1/(1-xi\_w\_COBRE)$ . Donde  $xi\_w\_COBRE$  mide la probabilidad promedio en que los salarios nominales permanecen rígidos en el sector cobre.

<sup>14</sup>  $index\_w\_COBRE = 0,9$ , donde  $index\_w\_COBRE$  es la inercia inflacionaria de los salarios nominales.

GRÁFICO 1

### Efecto del precio del cobre en la economía chilena (Todas las variables medidas como tasas de crecimiento)

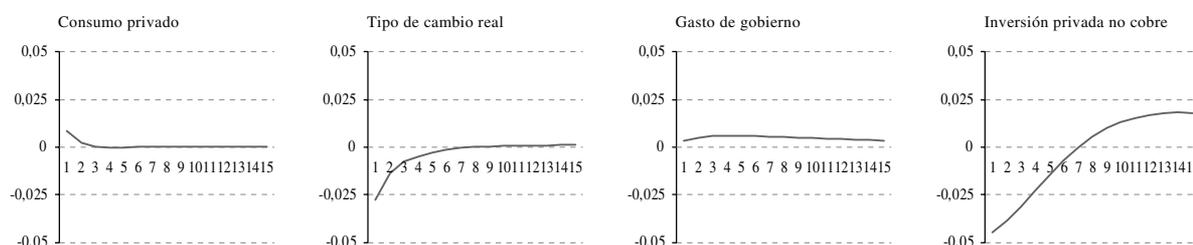
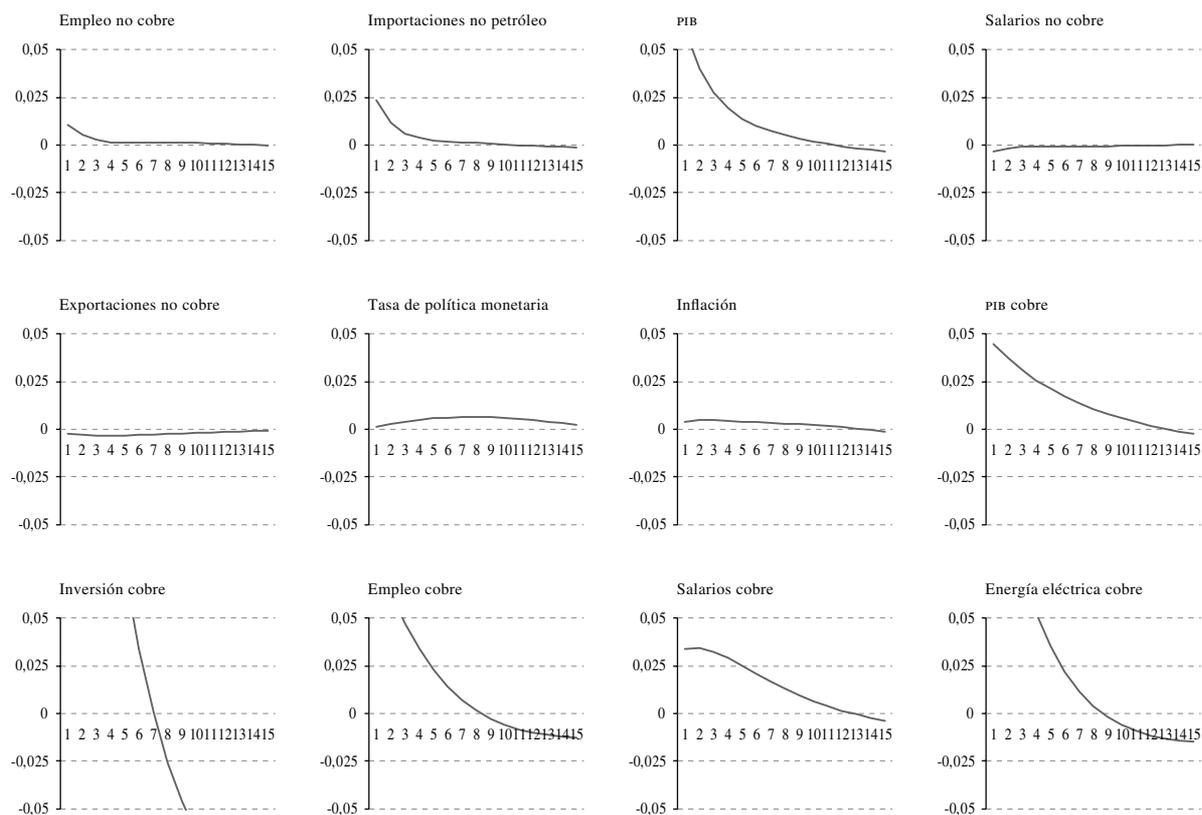


Gráfico 1 (conclusión)



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

Hay un efecto expansivo directo en el PIB, por ser el PIB minero parte de este, alcanzando una participación de un 17% en promedio en los últimos años. Se produce un aumento menor en el consumo y una mayor demanda del sector minero por bienes intermedios, lo que impulsa un incremento de los insumos importados y el empleo en sectores no cupríferos (los salarios de estos sectores prácticamente se mantienen constantes). Todo esto fortalece la expansión del PIB total, más allá del crecimiento del PIB minero.

El gasto de gobierno sube moderadamente, puesto que se asume que está operando la regla fiscal en el modelo DSGE.

La inflación por el mayor nivel de actividad sube marginalmente, ocasionando que el Banco Central aumente levemente la tasa de interés, lo que produce dos efectos: i) cae el tipo de cambio real y con ello las exportaciones que no corresponden al cobre, y ii) se reduce la inversión no cuprífera, aunque sube la inversión total, es decir, la que incluye al sector minero.

Se puede constatar que un aumento marginal de la tasa de interés tiene efectos no menores en el tipo de cambio real y la inversión en otras actividades productivas, debido a que estas variables en el modelo DSGE no dependen solo del valor actual de la tasa de interés, sino también de la trayectoria completa de dicha variable (tasa de interés de largo plazo). La acumulación de tasas marginales más altas durante un período prolongado reduce finalmente estas dos variables en los primeros períodos.

Para visualizar lo indicado de modo más preciso, en el cuadro 10 se muestran los valores en los crecimientos de las diferentes variables macroeconómicas debido a un *shock* del precio del cobre de un 1%. El cuadro 10 está construido con la misma información del gráfico 1, pero en dicho cuadro se resume la información en términos anuales. Se detalla la evolución de la economía hasta cinco años después del *shock*, y además se entregan los resultados acumulados para 1, 5 y 10 años. Los principales cambios observados son los siguientes.

CUADRO 10

## Impacto de un aumento de un 1% en el precio del cobre

| Años      | C                          | E      | G     | INC    | ENC    | MNP    | PIB                     | W      | X      | R      | PI     | PIBC   | IC     | EC     | WC     | EE     |
|-----------|----------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1         | 0,011                      | -0,054 | 0,020 | -0,137 | 0,020  | 0,045  | 0,147                   | -0,007 | -0,012 | 0,013  | 0,019  | 0,140  | 0,911  | 0,229  | 0,130  | 0,381  |
| 2         | 0,000                      | -0,004 | 0,023 | -0,016 | 0,004  | 0,007  | 0,036                   | -0,002 | -0,012 | 0,025  | 0,014  | 0,063  | 0,083  | 0,046  | 0,076  | 0,073  |
| 3         | 0,001                      | 0,003  | 0,019 | 0,055  | 0,004  | 0,001  | 0,006                   | -0,002 | -0,007 | 0,023  | 0,008  | 0,020  | -0,267 | -0,027 | 0,022  | -0,028 |
| 4         | 0,001                      | 0,005  | 0,015 | 0,072  | 0,000  | -0,004 | -0,011                  | 0,001  | -0,004 | 0,011  | -0,003 | -0,007 | -0,364 | -0,048 | -0,011 | -0,057 |
| 5         | 0,001                      | 0,006  | 0,011 | 0,062  | -0,003 | -0,006 | -0,019                  | 0,004  | -0,001 | -0,007 | -0,017 | -0,023 | -0,331 | -0,048 | -0,027 | -0,060 |
| Acumulado |                            |        |       |        |        |        |                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1         | 0,011                      | -0,054 | 0,020 | -0,137 | 0,020  | 0,045  | 0,147                   | -0,007 | -0,012 | 0,013  | 0,019  | 0,140  | 0,911  | 0,229  | 0,130  | 0,381  |
| 5         | 0,015                      | -0,044 | 0,088 | 0,035  | 0,026  | 0,042  | 0,159                   | -0,006 | -0,036 | 0,064  | 0,021  | 0,192  | 0,027  | 0,151  | 0,191  | 0,307  |
| 10        | 0,020                      | -0,022 | 0,112 | 0,093  | -0,002 | 0,023  | 0,043                   | 0,024  | -0,023 | -0,176 | -0,209 | 0,016  | -0,452 | 0,005  | 0,050  | 0,068  |
| C         | Consumo privado            |        |       |        |        | X      | Exportaciones no cobre  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| E         | Tipo de cambio real        |        |       |        |        | R      | TPM                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| G         | Gasto de gobierno          |        |       |        |        | PI     | Inflación               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| INC       | Inversión privada no cobre |        |       |        |        | PIBC   | PIB cobre               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ENC       | Empleo no cobre            |        |       |        |        | IC     | Inversión cobre         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MNP       | Importaciones no petróleo  |        |       |        |        | EC     | Empleo cobre            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| PIB       | Producto interno bruto     |        |       |        |        | WC     | Salarios reales cobre   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| W         | Salarios reales no cobre   |        |       |        |        | EE     | Energía eléctrica cobre |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

Fuente: Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

El PIB crece —después de cinco años de ocurrido la *shock*— hasta un 0,16% debido a un aumento de un 1% en el precio del cobre. De esta forma, la elasticidad minera por aumento del precio del cobre es de 0,16 = (0,16%/1%) en cinco años.

Al respecto, la experiencia pasada de la economía chilena es que el precio del cobre registró crecimientos trimestrales persistentes en el tiempo. Los cálculos efectuados en el presente trabajo con el modelo DSGE indican que el impacto de este fenómeno en el PIB es cuantitativamente importante. En efecto, si este crecimiento trimestral del precio del cobre continuara por 4, 8, 12 y 16 trimestres, entonces el PIB acumulado crecería 0,67%, 1,41%, 2,18% y 2,89%, respectivamente<sup>15</sup>.

Considerando que el precio del cobre muestra acentuadas desviaciones estándar de hasta 16%, una fluctuación positiva de esta magnitud correspondería a casi dos puntos de crecimiento en cinco años (2,54% = 16\*0,16).

El crecimiento de la inversión en el cobre compensa con creces la caída de la inversión cuprífera en el primer año. Sin embargo, al disminuir la inflación, el Banco

Central también reduce la tasa de interés recuperándose parcialmente la inversión en los demás sectores.

Si bien el consumo sube 0,015% en cinco años, el principal agregado macro que aumenta es el gasto de gobierno (0,088%).

El incremento del precio del cobre sin duda está asociado a una caída del tipo de cambio real, que desciende -0,044% afectando a las exportaciones no cupríferas en -0,036% en cinco años. No obstante, durante ese mismo período el empleo en otros sectores sube hasta 0,026% en cinco años.

### 3. Contribución del sector minero del cobre a la volatilidad del crecimiento

Se descompone la varianza del crecimiento observado en el período 2003-2013 en los *shocks* macroeconómicos del modelo DSGE, con el objeto de medir la contribución del sector minero del cobre a la volatilidad del crecimiento. En consecuencia, la fortaleza de este análisis consiste en considerar todos los *shocks* en conjunto y, por lo tanto, en poder visualizar con más claridad la importancia de la minería y, en particular, del precio del cobre en comparación con otros elementos que también son causantes del ciclo económico de la economía chilena.

<sup>15</sup> En el anexo A5 se presentan los detalles de este cálculo.

Por construcción, los mencionados *shocks* deben contabilizar el 100% de la varianza del crecimiento de la economía chilena en el período antes definido. Por lo tanto, en el modelo DSGE se incluyó una gran variedad de *shocks* estudiados por la literatura de fluctuaciones económicas para economías abiertas (monetarios, fiscales, productivos, términos de intercambio, premio por riesgo y otros), de manera de no dejar en unos pocos *shocks* toda la explicación de las fluctuaciones observadas en la economía chilena. Además, debido a la alta persistencia de los *shocks* que enfrenta la economía, se realizó el análisis de la descomposición de varianza del crecimiento desde 1 trimestre hasta 20 trimestres.

El enfoque descrito permite poner en perspectiva el efecto del precio del cobre, no solo en el crecimiento del PIB, sino también en una de las variables clave de la economía chilena: el tipo de cambio real. En efecto, de la sección anterior se desprende claramente que un aumento del precio del cobre hace caer el tipo de cambio real y con ello las exportaciones no cupríferas. Pero en el período 2003-2013 surge una importante pregunta al respecto: ¿ha sido el precio del cobre un determinante fundamental de la evolución del tipo cambio real o son otros *shocks* los que han determinado la evolución de esta variable?

En el cuadro 11 se indica un elemento clave en la economía nacional: para explicar el ciclo económico, los factores externos son casi tan importantes como la productividad. Entre estos factores, el precio del cobre por sí mismo contabiliza cerca del 5,8% de la varianza del PIB en el período 2003-2013, y es el factor más importante seguido por el premio por riesgo, y por lejos más importante que la actividad externa (crecimiento ponderado de los Estados Unidos de América, Europa y el Japón), las tasas de interés externas y el precio del petróleo.

Más aún, en el cuadro 12 se señala que el precio del cobre es muy marginal, lo que explica las fluctuaciones del tipo de cambio real. Por el contrario, el premio por riesgo del propio tipo de cambio y *shocks* a la productividad explican casi el 60% de la fluctuación de esta variable. Por consiguiente, se puede afirmar que si bien un mayor precio del cobre produce una apreciación real del peso, las fluctuaciones del tipo de cambio en el período 2003-2013 han estado asociadas a otros *shocks* de tipos más financieros y productivos<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Al respecto, García y González (2014) encuentran que este fenómeno se repite en otras economías que cuentan con un importante sector minero, como es el caso de Australia.

CUADRO 11

**Descomposición de la varianza del crecimiento del PIB**  
(En porcentajes)

| Crecimiento del PIB                    | Trimestres |      |      |      |      |
|--|------------|------|------|------|------|
|  | 1          | 4    | 8    | 16   | 20   |
| <i>Shocks</i>                          |            |      |      |      |      |
| Consumo                                | 15,4       | 25,1 | 21,0 | 20,8 | 20,7 |
| TPM (monetario)                        | 13,5       | 8,7  | 8,5  | 8,4  | 8,3  |
| Gasto de gobierno                      | 4,5        | 3,5  | 2,8  | 2,8  | 2,7  |
| Premio por riesgo                      | 2,8        | 2,4  | 2,0  | 2,0  | 2,0  |
| Salarios                               | 46,8       | 33,3 | 32,9 | 32,7 | 32,7 |
| Tasa de interés externa                | 0,3        | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,6  |
| PIB externo                            | 0,5        | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,6  |
| Precio cobre                           | 6,0        | 5,8  | 5,0  | 4,9  | 5,0  |
| Precio petróleo                        | 0,4        | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,7  |
| Productividad                          | 0,8        | 14,8 | 22,0 | 22,5 | 22,6 |
| Disponibilidad cobre                   | 0,6        | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |
| Otros                                  | 8,4        | 4,6  | 3,7  | 3,6  | 3,6  |
| Mínero (precio cobre + disponibilidad) | 6,7        | 6,3  | 5,4  | 5,4  | 5,4  |
| Factores externos                      | 10,0       | 9,6  | 8,7  | 8,9  | 8,9  |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

Nota: PIB: Producto interno bruto; TPM: Tasa de política monetaria.

CUADRO 12

**Descomposición porcentual de la varianza del tipo de cambio real bilateral  
con respecto a los Estados Unidos de América**

| Cambios del tipo de cambio real        | Trimestres |      |      |      |      |
|--|------------|------|------|------|------|
|  | 1          | 4    | 8    | 16   | 20   |
| <i>Shocks</i>                          |            |      |      |      |      |
| Consumo                                | 10,5       | 14,6 | 14,1 | 14,1 | 14,1 |
| TPM (monetario)                        | 4,0        | 3,5  | 3,6  | 3,6  | 3,6  |
| Gasto de gobierno                      | 0,0        | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Premio por riesgo                      | 23,2       | 26,6 | 25,6 | 25,5 | 25,5 |
| Salarios                               | 15,2       | 13,3 | 13,6 | 13,6 | 13,6 |
| Tasa de interés externa                | 9,5        | 8,6  | 8,7  | 8,7  | 8,7  |
| PIB externo                            | 1,9        | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  |
| Precio cobre                           | 0,4        | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Precio petróleo                        | 0,1        | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  |
| Productividad                          | 35,2       | 31,1 | 32,3 | 32,2 | 32,2 |
| Disponibilidad cobre                   | 0,0        | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Otros                                  | 0,0        | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |
| Minero (precio cobre + disponibilidad) | 0,4        | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Premio por riesgo                      | 23,2       | 26,6 | 25,6 | 25,5 | 25,5 |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

Nota: PIB: Producto interno bruto; TPM: Tasa de política monetaria.

#### 4. Integración en comparación con enclave

En relación con todos los resultados antes presentados, es importante cuantificar qué tan relevante en estos resultados es el supuesto clave de que la industria de la minería del cobre está integrada o conectada al resto de la economía chilena a través de la demanda de insumos intermedios.

Para poder cuantificar el efecto de este supuesto en los resultados del modelo, estos se comparan con los resultados obtenidos mediante el supuesto alternativo de que la minería se comporta como un “enclave”, es decir, que su aporte a la economía se reduce solo a contribuir a los ingresos fiscales (directos —por intermedio de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), la empresa estatal de producción de cobre en el país— y a través de impuestos a las utilidades).

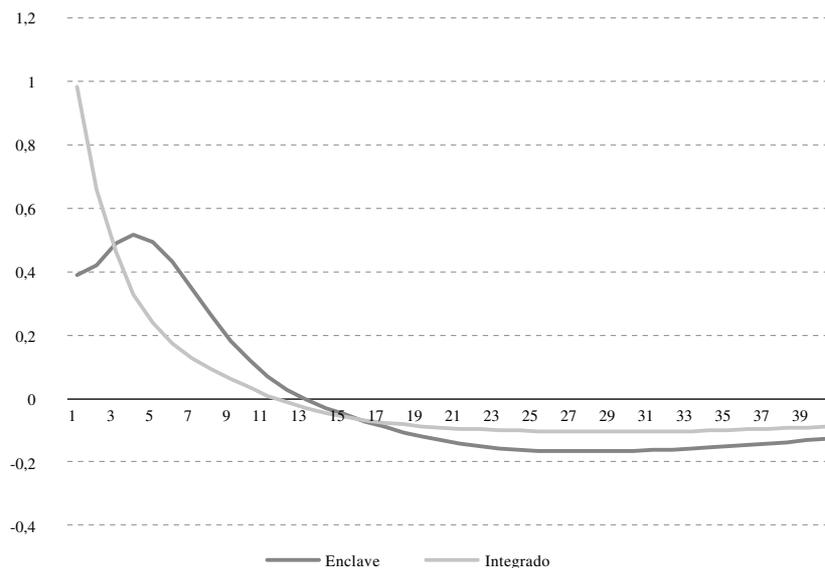
En el gráfico 2 se ilustra la importancia de modelar adecuadamente la integración de la minería en el resto de la economía y no solo considerar los efectos fiscales de este sector. Si en el modelo DSGE se hubiera considerado al sector minero solo como un enclave, y no integrado al resto de la economía, los efectos en

el crecimiento del PIB se deberían dividir casi por 2,5 (0,98/0,39).

Es conveniente aclarar que la distinción entre integración y enclave resultó básicamente relevante para identificar los impactos del precio del cobre en la economía. Desde un punto de vista del modelo como un todo, las mejoras producto de esta distinción resultaron ser marginales. En otras palabras, el ajuste —medido por los factores bayesianos— es muy parecido entre ambos modelos. No obstante, es importante aclarar que este también es un problema común en la estimación de modelos DSGE, es decir, que las propiedades de la muestra no son suficientes para discriminar entre diferentes modelos. Al respecto, Del Negro y Schorfheide (2008) indican que ante este problema de identificación, la solución es buscar evidencia microeconómica que permita fijar el valor de los parámetros en cuestión. En el presente caso en particular, es relativamente evidente la conexión entre el sector del cobre y el resto de la economía. En efecto, sobre la base de la información de las matrices insumo producto desde 2008 (véase el cuadro 6) se tiene que el sector cuprífero demanda sistemáticamente una importante proporción de sus insumos al resto de la economía.

GRÁFICO 2

**Efecto en el crecimiento del PIB de una desviación estándar en el precio del cobre**  
(Enclave en comparación con integrado)



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

## V

### Conclusiones

En el momento de modelar la relevancia de la minería del cobre en la economía chilena, es crucial reconocer las conexiones de este sector con el resto de la economía, además de los recursos que genera para el Gobierno de Chile.

Por lo tanto, si bien este sector contribuye sobre todo a través del precio del cobre, es importante tener en cuenta que su producción depende de insumos que son, en buena parte, ofrecidos por el resto de la economía. Así, los aumentos del precio del cobre desencadenarán una serie de demandas que afectarán positivamente a muchos otros sectores de la economía.

En términos cuantitativos, un aumento de 1% del precio del cobre causa un incremento acumulado

de 0,16% en el PIB en cinco años. Por otra parte, la simulación de aumentos continuos en el precio del cobre en el modelo, como fue la experiencia de la década pasada, demostró ser cuantitativamente relevante para explicar el auge de crecimiento que experimentó la economía en esos años.

Finalmente, si bien los incrementos del precio del cobre se vinculan a caídas del tipo de cambio real, en el período 2003-2013 no hay evidencia de que el precio del cobre explicara la varianza de dicho tipo de cambio. Por el contrario, esta variable depende mayoritariamente de *shocks* en el premio por riesgo y en la productividad.

## ANEXOS

## ANEXO 1

## Modelo DSGE

El modelo DSGE, en términos generales, está en concordancia con lo propuesto por Christiano, Eichenbaum y Evans (2005) y Smets y Wouters (2003 y 2007). Sin embargo, incorpora además del petróleo y el cobre, la energía eléctrica como insumo productivo.

## Hogares

Hay un continuo de familias de tamaño unitario, indexadas por  $i \in [0, 1]$ . En el modelo existen dos tipos de familias: una fracción  $(1 - \lambda_c)$  son las familias

“ricardianas”, que tienen acceso al mercado de capitales, y una fracción  $\lambda_c$  son las familias restringidas, cuyos ingresos dependen únicamente de su salario laboral. Las preferencias de las familias ricardianas están dadas por (A1.1) donde  $C_t^o$  es el consumo y  $L_t^o$  es la oferta laboral de la familia.

El coeficiente  $\sigma > 0$  mide la aversión al riesgo y  $\rho_L$  mide la desutilidad de trabajar; el inverso de este parámetro es también el inverso de la elasticidad de las horas trabajadas al salario real;  $h$  mide la formación de hábito para capturar la dinámica del consumo.

$$\max_{\{C_{t+k}^o(i), L_{t+k}^o(i), B_{t+k}^o(i), B_{t+k}^{o*}(i)\}_{k=0}^{\infty}} E_t \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \left( \frac{(C_{t+k}^o(i) - hC_{t+k-1}^o(i))^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{L_{t+k}^o(i)^{1+\rho_L}}{1+\rho_L} \right) \quad (\text{A1.1})$$

La restricción presupuestaria de las familias no restringidas —explicada en detalle en la sección III— está dada por:

$$(1 + t_c)P_t C_t^R(i) = W_t(i)L_t^R(i) \quad (\text{A1.3})$$

$$\begin{aligned} (1 + t_{t+k}^c)P_{t+k}C_{t+k}^o(i) &\leq (1 - t_{t+k}^W)W_{t+k}(i)L_{t+k}^o(i) \\ &+ B_{t+k}^o(i) - SX_{t+k}B_{t+k}^{o*}(i) + D_{t+k}^o - R_{t+k}^{-1}B_{t+k+1}^o(i) \\ &+ \left[ \Phi \left( \frac{B_{t+k+1}^{o*}}{PIB_{t+k}} \right) R_{t+k}^* \right]^{-1} B_{t+k+1}^{o*}(i) \end{aligned} \quad (\text{A1.2})$$

donde  $t_t^W$  son los impuestos a los ingresos;  $t_t^C$  son el impuesto al consumo;  $W_t$  son los salarios;  $SX_t$  el tipo de cambio nominal;  $B_t^o$  los acervos de deuda doméstica;  $B_t^{o*}$  el acervo de deuda externa;  $D_t^o$  los dividendos;  $R_t$  la tasa de interés interna, y  $R_t^*$  la tasa de interés externa. Las familias restringidas están sujetas a la siguiente restricción presupuestaria (exenta de impuestos a los ingresos):

## Intermediarios financieros

Los intermediarios financieros prestan fondos  $S_{jt}$  obtenidos de las familias a las firmas no-financieras. Estos fondos provienen de la riqueza propia  $N_{jt}$  y de los fondos obtenidos de las familias  $B_{jt}$ .

$$Q_t S_{jt} = N_{jt} + B_{jt} \quad (\text{A1.4})$$

La riqueza financiera evoluciona por el diferencial (*spread*) entre la tasa de mercado  $R_{Ft+1}$ , que tienen los productores de capital, y la de política monetaria  $R_{t+1}$ , que también es la tasa de interés efectiva para las familias.

$$N_{jt+1} = (R_{Ft+1} - R_{t+1})Q_t S_{jt} + R_{t+1}N_{jt} \quad (\text{A1.5})$$

El objetivo del intermediario financiero es maximizar su riqueza esperada, dada por:

$$V_{jt} = \max_{\{N_{jt+k+1}\}_{k=0}^{\infty}} E_0 \sum_{k=0}^{\infty} (1-\theta)\theta^k \Lambda_{t,t+k+1} \left[ (R_{Ft+1+k} - R_{t+1+k}) Q_{t+k} S_{jt+k} + R_{t+1+k} N_{jt+k} \right] \quad (A1.6)$$

Gertler y Karadi (2011) introducen riesgo moral al problema (A1.6), demostrando que en términos agregados:

$$Q_t S_t = \phi_t N_t \quad (A1.7)$$

La ecuación (A1.7) indica que la disponibilidad total de crédito privado es la riqueza de los intermediarios multiplicada por un factor  $\phi$ , que indica el grado de aplacamiento de los intermediarios.

**Firmas de bienes intermedios**

Las firmas de bienes intermedios utilizan capital  $K_t$ , trabajo  $L_t$ , y bienes importados  $M_t$  para producir bienes intermedios  $Y_t$ . Al final del período  $t$ , las firmas productoras de bienes intermedios compran capital  $K_{t+1}$  para utilizarlo en la producción en el período siguiente. Después de finalizado el proceso productivo, las firmas tienen la opción de vender el capital. Para adquirir los recursos que financian la compra del capital, la firma

entrega  $S_t$  derechos iguales al número de unidades de capital adquiridas  $K_{t+1}$  y el precio de cada derecho es  $Q_t$ . Esto es,  $Q_t K_{t+1}$  es el valor del capital adquirido y  $Q_t S_t$  el valor de los derechos contra capital. Luego, se debe satisfacer:

$$Q_t K_{t+1} = Q_t S_t \quad (A1.8)$$

En cada período o momento  $t$ , la firma produce,  $Y_t$  usando capital, trabajo y bienes importados. Sea  $A_t$  la productividad total de factores. Luego, la producción está dada por:

$$Y_t = A_t K_t^\beta L_t^\alpha M_t^{1-\alpha-\beta} \quad (A1.9)$$

Sea  $P_{m,t+k}$  el precio del bien intermedio. Dado que la decisión de la firma se efectúa al final de período  $t$ , el problema de maximización de la firma que produce bienes intermedios es:

$$\begin{aligned} & \max_{\{K_{t+k}(j), L_{t+k}(j), M_{t+k}(j)\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_t \left\{ (P_{m,t+k} Y_{t+k}(j) + (1-\delta) K_{t+k}(j) Q_{t+k}) (1-t_{t+k}^u) \right\} \\ & - \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_t \left\{ (R_{F,t+k} Q_{t+k-1} K_{t+k}(j) + W_{t+k} L_{t+k}(j) + S X_{t+k} M_{t+k}(j)) (1-t_{t+k}^u) \right\} \end{aligned} \quad (A1.10)$$

Los impuestos a los beneficios  $t_t^u$  de estas empresas no tienen efectos en la demandas de insumos, ni tampoco efectos fiscales por el supuesto de competencia perfecta en la producción de estos bienes que impone beneficios nulos.

El coeficiente  $\sigma > 0$  mide la aversión al riesgo y  $\rho_L$  mide la desutilidad de trabajar; el inverso de este parámetro es también el inverso de la elasticidad de las horas trabajadas al salario real. En tanto que  $h$  mide la formación de hábito para capturar la dinámica del consumo. Para modelar mejor la dinámica del consumo

se agregaron de manera *ad hoc* los ingresos laborales esperados en la ecuación de Euler de los optimizadores.

**Firmas productoras de capital**

Las firmas productoras de capital compran capital de las firmas productoras de bienes intermedios, reparan el capital depreciado y construyen nuevo capital con el capital reparado. Si definimos a  $I_t$  como la inversión, el problema de maximización de las firmas productoras de capital es:

$$\max_{\{I_{t+k}\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_t \left\{ \left( (Q_{t+k} - 1) I_{t+k} - t_{t+k}^u Q_{t+k} I_{t+k} - f\left(\frac{I_{t+k}}{I_{t+k-1}}\right) I_{t+k} \right) \right\} \quad (A1.11)$$

En otras palabras, la firma productora de bienes de capital obtiene una ganancia por invertir en cada período de  $(Q_t - 1)I_t$ , menos los costos de ajuste  $f(I_t/I_{t-1})$ . Por último,  $tu$  son impuestos a las ganancias. La ley de movimiento del capital es dada por:

$$K_{t+1+k} = (1 - \delta)K_{t+k} + I_{t+k} \quad (\text{A1.12})$$

### Firmas minoristas (retail)

El producto final  $Y_t$  se obtiene agregando (a través de una función CES) la producción de firmas intermedias.

$$\begin{aligned} \max_{\{P_t^*(j)\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_t \left\{ \Lambda_{t,t+k} Y_{t+k}(j) \left( P_t^*(j) \prod_{l=1}^k (\pi_{t+l-1}^k)^{\delta_D} - MC_{t+k} \right) \right\} \\ \text{s.a. } Y_{t+k}(j) \leq \left( \frac{P_t^*(j)}{P_{t+k}} \right)^{-\varepsilon_D} Y_{t+k} \end{aligned} \quad (\text{A1.14})$$

donde  $MC_{t+k}$  son los costos marginales de la empresa minorista. En particular, en cada período una firma está dispuesta a ajustar sus precios con probabilidad  $(1 - \theta)$ . Entre esos períodos, la firma está dispuesta a indexar parcialmente (es decir,  $\delta_D \in [0, 1]$ ) su precio a la tasa de inflación pasada. Con estos supuestos, el nivel de precios evoluciona de acuerdo con

$$P_t = \left( (1 - \theta) (P_t^*)^{\frac{1}{1-\varepsilon}} + \theta (\pi_{t-1}^{\delta_D} P_{t-1})^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \right)^{1-\varepsilon} \quad (\text{A1.15})$$

Se supone que el producto final usado por consumidores y firmas es una combinación entre  $Y_t$  e importaciones de petróleo para transporte  $TOIL_t$ .

### Política monetaria

La política monetaria sigue una regla de Taylor que responde ante cambios en el producto, la inflación y el tipo de cambio.

$$R_t^* = \bar{R} \left( \left( \frac{\Pi_{t+1}}{\bar{\Pi}} \right)^{\phi_\pi} \left( \frac{PIB_t}{\bar{PIB}} \right)^{\phi_y} \left( \frac{E_t}{\bar{E}} \right)^{\zeta_e^1} \left( \frac{E_t}{E_{t-1}} \right)^{\zeta_e^2} \right) e^{u_t^R} \quad (\text{A1.16})$$

$$R_t = (R_{t-1})^{\Omega_R} (R_t^*)^{1-\Omega_R} \quad (\text{A1.17})$$

Se supone que esto se hace por parte de otras firmas, llamadas minoristas y que simplemente empaacan la producción de bienes intermedios:

$$Y_t = \left( \int_0^1 Y_{ft}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} df \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (\text{A1.13})$$

Como en Christiano, Eichenbaum y Evans (2005), las firmas minoristas enfrentan precios según Calvo e indexación parcial. Luego, el problema de maximización para una firma minorista  $j$  está dado por:

donde  $\bar{R}$  es la tasa natural,  $\Pi_t$  la inflación total,  $\bar{\Pi}$  el objetivo inflacionario,  $\bar{PIB}$  el PIB potencial,  $E_t$  el tipo de cambio real,  $\bar{E}$  el tipo de cambio real de equilibrio y  $u_t^R$  es un shock monetario. En las estimaciones de las ecuaciones (A1.16) y (A1.17) se utilizó el PIB sin recursos naturales (es decir, sin sector del cobre).

### Exportaciones no mineras

En el modelo, se supone que las exportaciones  $X_t$  dependen del tipo de cambio real  $E_t$ , de la actividad económica internacional  $PIB_t^*$  y, además, presentan cierto grado de inercia  $\Omega$ . Luego,

$$X_t = (E_t)^{-\eta^*} PIB_t^* \quad (\text{A1.18})$$

$$X_t = (X_{t-1})^\Omega (X_t)^{1-\Omega} \quad (\text{A1.19})$$

### Riesgo país

Además, como en Schmitt-Grohé y Uribe (2003), para cerrar el modelo se supone que el riesgo país depende de la deuda externa de la siguiente forma:

$$SX_t \left( \Phi \left( \frac{B_{t+1}^*}{PIB_t} \right) R_t^* \right)^{-1} \quad (\text{A1.20})$$

### Restricción de recursos, producción de cobre y gasto de gobierno

La regla fiscal establece que el gasto depende de los ingresos estructurales  $IT$ , más un ajuste por exceso de deuda pública. En otras palabras, si esta deuda es consistente con su valor de largo plazo  $B^{G^*}$ , entonces el valor del gasto fiscal es igual a los ingresos estructurales  $IT$ .

$$P_t G_t = \left( \frac{B_t^{G^*}}{B^{G^*}} \right)^{-\phi^G} IT \quad (\text{A1.21})$$

La restricción presupuestaria del gobierno, que incluye todos los ingresos de los impuestos más las transferencias del cobre  $\gamma^{cu} SX_t P_t^{cu} QCU_t$ , es:

$$t_t^c P_t C_t + t_t^u P_t I_t + t_t^m P_t I_t^{cu} + t_t^w W_t N_t + (R_t)^{-1} B_{t+1}^G + \gamma^{cu} SX_t P_t^{cu} QCU_t = B_t^G + P_t G_t \quad (\text{A1.22})$$

donde  $B_t^G$  es la deuda del gobierno y  $\gamma^{cu}$  es el porcentaje del valor total de las exportaciones de cobre que son del gobierno (CODELCO).

## ANEXO 2

## Datos utilizados

La muestra del estudio es trimestral, desde enero de 2003 a abril de 2013.

i) *Datos macroeconómicos*

La información macroeconómica fue tomada de la página web del Banco Central de Chile:

<http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>.

ii) *Datos del sector minero*

PIB del cobre:

Banco Central de Chile (cifras correspondientes al período trimestral, 2003-2013, empalmadas con series de referencia de 2008). (Datos disponibles en línea):

<http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>.

**Inversión minera**

Obtenido de COCHILCO, Inversión de la Gran Minería del Cobre, *Anuario* (cifras anuales medidas en dólares de cada año (2003-2013), calculadas en términos reales al multiplicarse por tipo de cambio dividido por deflactor de la inversión. (Datos disponibles en línea):

<http://www.cochilco.cl/estadisticas/anuario.asp>.

Obtenido de Banco Central de Chile: formación bruta de capital fijo (FBCF), página web (cifras anuales medidas en dólares de cada año (2003-2013), calculadas en términos reales al multiplicarse por tipo de cambio dividido por deflactor de la inversión. (Datos disponibles en línea):

<http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>.

Con esta información se obtiene la participación anual de la inversión minera sobre la inversión total.

Dentro de un año, se supone que la participación de la inversión minera aumenta linealmente para alcanzar la participación anual.

Banco Central de Chile: formación bruta de capital fijo (FBCF) (cifras correspondientes al período trimestral 2003-2013, empalmadas con series de referencia de (2008). (Datos disponibles en línea):

<http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>.

**Empleo minero**

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), ocupados por categoría, minería y canteras, 2010-2013. (Datos disponibles en línea):

[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/mercado\\_del\\_trabajo/empleo/series\\_estadisticas/nuevas\\_empalmadas/series\\_fecha.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/empleo/series_estadisticas/nuevas_empalmadas/series_fecha.php).

INE, ocupados por categoría, minería y canteras, 2010-2013. (Datos disponibles en línea):

[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/mercado\\_del\\_trabajo/nene/series\\_trimestrales\\_2011.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/nene/series_trimestrales_2011.php).

Las series fueron luego empalmadas y trimestralizadas (Microsoft Excel ©) y desestacionalizada por el programa Census X-13 de Eviews 8.0 ©.

**Salario minero**

Índice nominal de remuneraciones, explotación de minas y canteras, INE (series obtenidas de dos series: i) históricas empalmadas 1993-2007 (base enero 2006 = 100), y ii) series referenciales base anual 2009 = 100)). (Datos disponibles en línea):

[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/mercado\\_del\\_trabajo/remuneraciones/series\\_estadisticas/nuevo\\_series\\_estadisticas.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/remuneraciones/series_estadisticas/nuevo_series_estadisticas.php).

La serie es mensual, luego fue trimestralizada (Microsoft Excel ©) y desestacionalizada por el programa Census X-13 de Eviews 8.0 ©.

**Energía eléctrica**

COCHILCO, Consumo Nacional de la Energía en la Minería del Cobre, *Anuario* (promedio anual, 2003-2013, en *terajoules* (TJ). (Datos disponibles en línea):

<http://www.cochilco.cl/estadisticas/energia.asp>.

La serie fue transformada en GWh (1 GWh»0,28TJ). (Datos disponibles en línea):

<http://www.lngplants.com/conversiontables.html>.

Comisión Nacional de Energía (CNE), Generación bruta SIC-SING (promedio anual en GWh). (Datos disponibles en línea):

<http://www.cne.cl/estadisticas/energia/electricidad>.

Con esta información se obtiene la participación anual del consumo de energía eléctrica minera sobre el consumo nacional total.

CNE, Generación bruta SIC-SING (promedio mensual en GWh). Fue trimestralizada (Microsoft Excel ©) y desestacionalizada por el programa Census X-13 de Eviews 8.0 ©. (Datos disponibles en línea):

<http://www.cne.cl/estadisticas/energia/electricidad>.

Dentro de un año, se supone que la participación del consumo eléctrico minero aumenta linealmente para alcanzar participación anual.

### **Precio de la energía eléctrica**

El precio de la energía relevante para la minería se construye con el promedio ponderado entre el precio del Sistema Interconectado Central (SIC) y el del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Se usan como ponderadores el porcentaje del PIB minero de las regiones I y II para el SIGN (0,6) y el

porcentaje del PIB minero de las regiones III, IV, V y VI para el SIC (0,4). No obstante la información regional solo se tiene información para el período 2010-2012.

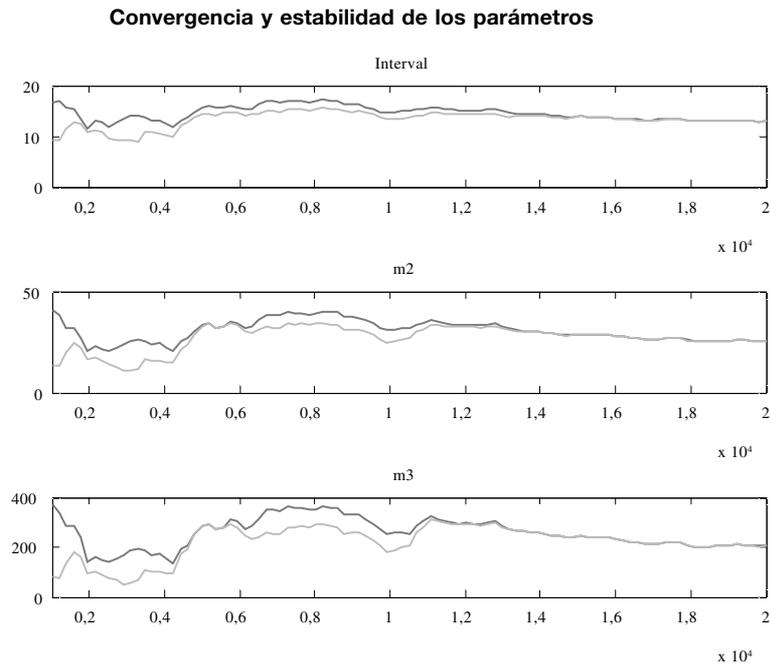
Los detalles sobre los precios son los siguientes:

- Desde el tercer trimestre del año 2006 hasta el cuarto trimestre de 2013, los precios corresponden al “Precio promedio de mercado de clientes no sometidos a regulación de precios – en \$/Kwh”, publicado por la Comisión Nacional de Energía. Al respecto, cabe señalar que dado que los precios publicados corresponden al promedio de cuatro meses, para un trimestre cualquiera se ha usado el promedio simple entre los dos cuatrimestres que incluyen los tres meses del trimestre correspondiente (por ejemplo, para el tercer trimestre del año 2006, se ha calculado el promedio simple entre el cuatrimestre “junio 2006-septiembre 2006” y el cuatrimestre “julio 2006-octubre 2006”).
- Para el período comprendido entre el primer trimestre del año 2000 y el segundo trimestre de 2006, se han utilizado los datos calculados por SYNEX, usados en el estudio “Impacto macroeconómico del retraso en las inversiones de generación eléctrica en Chile” (Agurto y otros, 2013).

## ANEXO 3

## Convergencia y parámetros estimados del modelo DSGE

GRÁFICO A.3.1



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de *equilibrio general* dinámico estocástico (DSGE).

CUADRO A.3.1

## Parámetros estimados del modelo DSGE

| Parámetros      | A priori | Resultante | Intervalo de confianza 90% |        | Distribución a priori | Desviación estándar |
|-----------------|----------|------------|----------------------------|--------|-----------------------|---------------------|
| sigma           | 2        | 1,7726     | 1,6361                     | 1,8897 | gamma                 | 0,1                 |
| h               | 0,3      | 0,2638     | 0,2018                     | 0,3359 | beta                  | 0,05                |
| rho_L           | 1        | 1,1488     | 1,0025                     | 1,2985 | gamma                 | 0,1                 |
| rho_G           | 0,9      | 0,9119     | 0,8497                     | 0,9793 | beta                  | 0,05                |
| rho_A           | 0,9      | 0,931      | 0,9051                     | 0,9535 | beta                  | 0,05                |
| rho_Rstart      | 0,9      | 0,6335     | 0,5437                     | 0,7146 | beta                  | 0,05                |
| rho_Ystart      | 0,9      | 0,974      | 0,9651                     | 0,9827 | beta                  | 0,05                |
| rho_Oil         | 0,9      | 0,8655     | 0,7959                     | 0,9337 | beta                  | 0,05                |
| rho_Pcu         | 0,9      | 0,8623     | 0,8377                     | 0,8915 | beta                  | 0,05                |
| rho_GD          | 0,1      | 0,0098     | 0,0083                     | 0,0111 | beta                  | 0,05                |
| index           | 0,906    | 0,8815     | 0,8013                     | 0,9641 | beta                  | 0,05                |
| xi              | 0,804    | 0,8173     | 0,8024                     | 0,8298 | beta                  | 0,01                |
| index_w         | 0,9      | 0,6731     | 0,5775                     | 0,785  | beta                  | 0,05                |
| xi_w            | 0,67     | 0,8961     | 0,8802                     | 0,9136 | beta                  | 0,05                |
| beta1           | 0,8      | 0,7961     | 0,7821                     | 0,8106 | gamma                 | 0,01                |
| beta2           | 0,1      | 0,0999     | 0,0987                     | 0,1013 | beta                  | 0,001               |
| rho_R           | 0,92     | 0,9201     | 0,906                      | 0,9325 | beta                  | 0,01                |
| rho_inf         | 2        | 1,9894     | 1,8261                     | 2,1729 | beta                  | 0,1                 |
| rho_y           | 0,5      | 0,5758     | 0,456                      | 0,7018 | beta                  | 0,1                 |
| rho_e1          | 0,3      | 0,2655     | 0,1338                     | 0,3943 | beta                  | 0,2                 |
| rho_e2          | 0,3      | 0,0811     | 0,0001                     | 0,1715 | beta                  | 0,2                 |
| rho_E           | 0,3      | 0,3015     | 0,2848                     | 0,3198 | beta                  | 0,01                |
| pmg_M           | 0,5      | 0,3838     | 0,281                      | 0,4713 | beta                  | 0,1                 |
| pmg_L           | 0,5      | 0,1662     | 0,1344                     | 0,193  | beta                  | 0,1                 |
| pmg_K           | 0,5      | 0,5271     | 0,3736                     | 0,6914 | beta                  | 0,1                 |
| theta_TOIL      | 0,5      | 0,4599     | 0,2992                     | 0,6423 | beta                  | 0,1                 |
| theta_L         | 0,5      | 0,8001     | 0,7209                     | 0,8725 | beta                  | 0,1                 |
| theta_K         | 0,5      | 0,5046     | 0,3333                     | 0,6619 | beta                  | 0,1                 |
| theta_M         | 0,5      | 0,5602     | 0,419                      | 0,688  | beta                  | 0,1                 |
| pmg_TOIL        | 0,1      | 0,0694     | 0,0103                     | 0,1306 | beta                  | 0,05                |
| pmg_G           | 0,5      | 0,5863     | 0,5159                     | 0,6519 | beta                  | 0,05                |
| trend_PIB       | 1,1      | 1,2909     | 1,2053                     | 1,3755 | gamma                 | 0,1                 |
| trend_Oil       | 2,42     | 2,4448     | 2,3135                     | 2,5874 | gamma                 | 0,1                 |
| trend_Pcu       | 3,28     | 3,2443     | 3,0929                     | 3,3895 | gamma                 | 0,1                 |
| trend_PIBstar   | 1,22     | 1,2056     | 1,0516                     | 1,3425 | gamma                 | 0,1                 |
| trend_L         | 0,71     | 0,5789     | 0,4701                     | 0,6934 | gamma                 | 0,1                 |
| trend_E         | 0,5      | 0,112      | 0,0006                     | 0,228  | unif                  | 0,2887              |
| constante_R     | 0,99     | 0,9837     | 0,828                      | 1,1513 | gamma                 | 0,1                 |
| constante_PI    | 0,75     | 0,7538     | 0,6067                     | 0,8976 | gamma                 | 0,1                 |
| constante_Rstar | 0,5      | 0,3869     | 0,0004                     | 0,728  | unif                  | 0,2887              |
| rho_PEE         | 0,5      | 0,8518     | 0,8016                     | 0,9022 | beta                  | 0,1                 |
| pmg_EE_EN_COBRE | 0,5      | 0,2564     | 0,1317                     | 0,3676 | beta                  | 0,1                 |
| index_w_COBRE   | 0,9      | 0,9046     | 0,8335                     | 0,9712 | beta                  | 0,05                |
| xi_w_COBRE      | 0,67     | 0,6216     | 0,5705                     | 0,6813 | beta                  | 0,05                |
| pmg_EN_COBRE    | 0,5      | 0,1423     | 0,0555                     | 0,2258 | beta                  | 0,1                 |
| pmg_L_COBRE     | 0,5      | 0,0848     | 0,051                      | 0,1188 | beta                  | 0,1                 |
| pmg_K_COBRE     | 0,5      | 0,5461     | 0,4031                     | 0,6778 | beta                  | 0,1                 |
| rho_A_COBRE     | 0,9      | 0,9045     | 0,8917                     | 0,9168 | beta                  | 0,01                |
| trend_PIB_COBRE | 0,1      | 0,1039     | 0,09                       | 0,1187 | gamma                 | 0,01                |
| trend_PEE       | 0,64     | 0,6381     | 0,4976                     | 0,7886 | gamma                 | 0,1                 |

Fuente: Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

CUADRO A.3.2

## Desviaciones estándar de los shocks estimados en el modelo DSGE

| Desviaciones estándar shocks | A priori | Resultante | Intervalo de confianza 90% |         | Distribución a priori | Desviación estándar |
|------------------------------|----------|------------|----------------------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Err_C                        | 1,08     | 0,4898     | 0,3557                     | 0,6311  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_E                        | 3,56     | 5,1476     | 4,5078                     | 5,7673  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_G                        | 1,72     | 1,1        | 0,9047                     | 1,2844  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_M                        | 4,78     | 4,5151     | 3,9697                     | 5,1656  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_Oil                      | 16,07    | 16,2808    | 15,608                     | 17,0067 | invg2                 | 0,5                 |
| Err_Pcu                      | 16,53    | 16,627     | 15,8637                    | 17,4668 | invg2                 | 0,5                 |
| Err_PIB                      | 1,16     | 1,8313     | 1,3863                     | 2,2744  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_Q                        | 9,76     | 9,7315     | 8,9636                     | 10,7295 | invg2                 | 0,5                 |
| Err_W                        | 0,87     | 0,4109     | 0,3251                     | 0,4877  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_X                        | 5,03     | 5,1674     | 4,5989                     | 5,7607  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_Ystart                   | 2,81     | 3,31       | 2,662                      | 3,9391  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_R                        | 0,48     | 0,2178     | 0,1732                     | 0,2618  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_PI                       | 0,96     | 0,7168     | 0,5913                     | 0,8459  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_Rstart                   | 0,89     | 0,9244     | 0,7517                     | 1,0735  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_QCU                      | 3,59     | 3,7614     | 3,2334                     | 4,2889  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_COBRE_I                  | 6,46     | 6,4473     | 5,8375                     | 7,0691  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_I                        | 4,6      | 4,4445     | 3,9205                     | 4,93    | invg2                 | 0,5                 |
| Err_L_COBRE                  | 1,4      | 4,4021     | 3,7446                     | 5,0181  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_L                        | 0,81     | 1,5259     | 1,2768                     | 1,753   | invg2                 | 0,5                 |
| Err_COBRE_W                  | 0,9      | 0,5559     | 0,4213                     | 0,6845  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_EE_COBRE                 | 4,34     | 5,1935     | 4,3792                     | 5,8902  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_PEE                      | 6,84     | 6,9106     | 6,2696                     | 7,6251  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_A                        | 1,16     | 0,7197     | 0,5738                     | 0,8635  | invg2                 | 0,5                 |
| Err_A_COBRE                  | 3,59     | 7,2804     | 5,834                      | 8,6681  | invg2                 | 0,5                 |

Fuente: Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

## ANEXO 4

## Calibración de las funciones Cobb-Douglas en el sector minero

Las funciones que representa la producción de cobre son las siguientes:

$$QCU_t = A_t^{CU} L_t^{CU\alpha} K_t^{CU\beta} E_t^{1-\alpha-\beta}$$

$$E_t = OIL_t^\delta EE_t^{1-\delta}$$

El cálculo de  $\tilde{\beta}$  se estima de la siguiente manera: primero se obtiene la razón promedio entre la inversión en la minería del cobre y el PIB minero; segundo, se calcula la participación o el  $\tilde{\beta}$  por:

$$\begin{aligned} \tilde{\beta} &= \text{participación} = (r + \delta^{cu}) \frac{K^{cu}}{QCU} \\ &= (0,02368 + 0,02) * 0,23 = 0,51 \end{aligned}$$

La tasa de interés se calcula suponiendo una tasa de descuento subjetiva de 0,9865, más un diferencial de 1%. La tasa de depreciación  $\gamma^{cu}$  es supuesta de 2% trimestral, que es la misma tasa de depreciación para el resto de la economía, que a su vez fue fijada en ese valor para obtener valores razonables del estado estacionario (consumo sobre PIB, inversión sobre PIB y otros).

En el caso de la energía, se usan los consumos de energía eléctrica como los de combustible medios en *terajoules* (TJ) anuales que publica COCHILCO. Luego, los consumos anuales son transformados en unidades equivalentes de barriles de petróleo (se divide por 5,75/1.000) y gwh (se multiplica por 0,28), puesto que en estas unidades existen precios en pesos (el precio del barril de petróleo es transformado en pesos al ser multiplicado por el tipo de cambio observado).

Los valores totales para cada tipo de energía son calculados mediante la multiplicación de los precios por la cantidad de barriles y de GWh, respectivamente. En seguida se obtienen las participaciones respectivas dividiendo los valores anuales por el PIB del cobre en pesos de cada año. Así, se toma el promedio de las participaciones del período 2003-2013. En resumen, la energía total participa con un 10% en el PIB del cobre, con un 3% en combustible y un 7% en energía eléctrica, con lo cual un 30% del gasto total de energía es combustible y 70% energía eléctrica.

La participación del trabajo se obtiene como residuo, una vez calculada la participación del capital y la energía (1-0,51 - 0,1 = 0,39).

## ANEXO 5

Una de las características del precio del cobre es que este ha mostrado largos períodos de crecimiento. A modo de ejemplo, en el período 2003-2006 el precio del cobre se incrementó a una tasa promedio trimestral

de 12%. Por esta razón, en el cuadro A5.1 se aprecia el crecimiento acumulado del PIB si el precio del cobre aumenta cada trimestre en forma continua en un 1% a diferentes horizontes.

CUADRO A.5.1

**Crecimiento acumulado en el PIB por aumentos continuos de 1%  
en el precio del cobre**

| Años | Trimestres en que crece un 1% el precio del cobre |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
| 1    | 0,12  | 0,21 | 0,29 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| 2    | 0,15  | 0,29 | 0,42 | 0,55 | 0,67 | 0,77 | 0,85 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 |
| 3    | 0,15  | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,75 | 0,89 | 1,03 | 1,15 | 1,27 | 1,37 | 1,45 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| 4    | 0,14  | 0,28 | 0,42 | 0,57 | 0,72 | 0,87 | 1,02 | 1,17 | 1,32 | 1,46 | 1,60 | 1,73 | 1,85 | 1,95 | 2,03 | 2,08 |
| 5    | 0,12  | 0,24 | 0,37 | 0,51 | 0,65 | 0,79 | 0,93 | 1,08 | 1,23 | 1,38 | 1,53 | 1,69 | 1,83 | 1,98 | 2,12 | 2,25 |

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base del modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE).

### Bibliografía

- Acevedo, R. y otros (2006), "Matrices insumo-producto regionales", *Estadística y Economía* [en línea] [http://www.ine.cl/canales/sala\\_prensa/revistaseconomicas/25/luisriffio25.pdf](http://www.ine.cl/canales/sala_prensa/revistaseconomicas/25/luisriffio25.pdf).
- Agurto, R. y otros (2013), "Impacto macroeconómico del retraso en las inversiones de generación eléctrica en Chile", *Documentos de Investigación*, N° 288, Santiago, Universidad Alberto Hurtado.
- Álvarez, R. y R. Fuentes (2004), "Patrones de especialización y crecimiento sectorial en Chile", *Documento de Trabajo*, N° 288, Santiago, Banco Central de Chile.
- An, S. y F. Schorfheide (2007), "Bayesian analysis of DSGE models", *Econometric Reviews*, vol. 26, N° 2-4, Taylor & Francis.
- Andrés, J., P. Burriel y A. Estrada (2006), "BEMOD: a DSGE model for the Spanish economy and the rest of the Euro Area", *Documentos de Trabajo*, N° 631, Madrid, Banco de España.
- Arellano, J.P. (2012), "El cobre como palanca de desarrollo para Chile", *Estudios Públicos*, N° 127, Santiago, Centro de Estudios Públicos [en línea] [http://www.cepchile.cl/dms/archivo\\_5148\\_3298/rev127\\_JPArellano.pdf](http://www.cepchile.cl/dms/archivo_5148_3298/rev127_JPArellano.pdf).
- Aroca, P. (2000), "Impacto de la minería en la II Región", *Dilemas y debates en torno al cobre*, Santiago, Dolmen Ediciones.
- Banco Central de Chile (2013), "Cuentas nacionales de Chile 2008-2013", Santiago [en línea] <http://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/informes/CCNN/ANUALES/anuarios.html>.
- (2003), "Modelos macroeconómicos y proyecciones del Banco Central de Chile", Santiago.
- Bems, R. e I. de Carvalho Filho (2011), "The current account and precautionary savings for exporters of exhaustible resources", *Journal of International Economics*, vol. 84, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Berger, D., R. Caballero y E. Engel (2014), "Missing aggregate dynamics: on the slow convergence of lumpy adjustment models", inédito.
- Bodenstein, M., C.J. Erceg y L. Guerrieri (2011), "Oil shocks and external adjustment", *Journal of International Economics*, vol. 83, N° 2, Amsterdam, Elsevier.
- Bohn, H. y R.T. Deacon (2000), "Ownership risk, investment, and the use of natural resources", *American Economic Review*, vol. 90, N° 3, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Caputo, R., F. Liendo y J.P. Medina (2007), "New Keynesian models for Chile in the inflation-targeting period", *Monetary Policy under Inflation Targeting*, F. Mishkin y K. Schmidt-Hebbel (eds.), Santiago, Banco Central de Chile.
- Céspedes, L.F., J. Fornero y J. Galí (2010), "Non-Ricardian aspects of fiscal policy in Chile", documento presentado en la Conferencia Anual del Banco Central de Chile, Santiago, 21 y 22 de octubre.
- Chen, Y., K. Rogoff y B. Rossi (2010), "Can exchange rates forecast commodity prices?", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 125, N° 3, Oxford University Press.
- Christiano, L., M. Eichenbaum y C. Evans (2005), "Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy", *Journal of Political Economy*, vol. 113, N° 1, Chicago, University of Chicago Press.
- COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre) (2013), *Minería en Chile: impacto en regiones y desafíos para su desarrollo*, Santiago, Fundación Chile [en línea] [http://www.cochilco.cl/descargas/estadisticas/libro/Libro\\_Mineria\\_en\\_Chile\\_Impacto\\_en\\_Regiones\\_y\\_Desafios\\_para\\_su\\_Desarrollo.pdf](http://www.cochilco.cl/descargas/estadisticas/libro/Libro_Mineria_en_Chile_Impacto_en_Regiones_y_Desafios_para_su_Desarrollo.pdf).
- De Gregorio, J. (2009), "El crecimiento en Chile y el cobre", Santiago, Banco Central de Chile [en línea] <http://www.bcch.cl/politicas/presentaciones/consejeros/pdf/2009/jdg01092009.pdf>.
- Del Negro, M. y F. Schorfheide (2008), "Forming priors for DSGE models (and how it affects the assessment of nominal rigidities)", *Journal of Monetary Economics*, vol. 55, N° 7, Amsterdam, Elsevier.
- Dejong, D. y C. Dave (2011), *Structural Macroeconometrics*, Princeton, Princeton University Press.
- Dib, A. (2008), "Welfare effects of commodity price and exchange rate volatilities in a multi-sector small open economy model", *Staff Working Paper*, N° 2008-8, Ottawa, Banco de Canadá.

- Erceg, C.J., L. Guerrieri y C. Gust (2006), "SIGMA: a new open economy model for policy analysis", *International Journal of Central Banking*, vol. 2, N° 1.
- Galí, J. (2008), *Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle: an Introduction to the New Keynesian Framework*, Princeton, Princeton University Press.
- Galí, J., D. López-Salido y J. Valles (2007), "Understanding the effects of government spending on consumption", *Journal of the European Economic Association*, vol. 5, Asociación Económica Europea.
- (2004), "Rule-of-thumb consumers and the design of interest rate rules", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 36, N° 4.
- Galí, J. y M. Gertler (2007), "Macroeconomic modeling for monetary policy evaluation", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 21, N° 4, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- García, C.J. y W. González (2014), "Why does monetary policy respond to the real exchange rate in small open economies? A Bayesian perspective", *Empirical Economics*, vol. 46, N° 3, Springer.
- García, C.J., P. González y A. Moncayo (2013), "Macroeconomic forecasting in Chile: a Bayesian structural approximation", *Economía Chilena*, Santiago, Banco Central de Chile, abril.
- García, C.J., J. Restrepo y S. Roger (2011), "How much should inflation targeters care about the exchange rate?", *Journal of International Money and Finance*, vol. 30, N° 7, Amsterdam, Elsevier.
- García, C.J., J. Restrepo y E. Tanner (2011), "Fiscal rules in a volatile world: a welfare-based approach", *Journal of Policy Modeling*, vol. 33, N° 4.
- García, C.J., P. Jaramillo y J. Selaive (2007), "Stylized facts of International Business Cycle Relevant for the Chilean Economy", *Economía Chilena*, Santiago, Banco Central de Chile.
- Gertler, M. y P. Karadi (2011), "A model of unconventional monetary policy", *Journal of Monetary Economics*, vol. 58, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Gertler, M. y N. Kiyotaki (2010), "Financial intermediation and credit policy in business cycle analysis", *Handbook of Monetary Economics*, B. Friedman y M. Woodford, vol. 3A, Amsterdam, North Holland.
- Gross, I. y J. Hansen (2013), "Reserves of natural resources in a small open economy", *RBA Research Discussion Papers*, N° RDP 2013-14, Banco de la Reserva de Australia.
- Jääskelä, J. y K. Nimark (2008), "A medium-scale open economy model of Australia", *RBA Research Discussion Paper*, N° 2008-07, Banco de la Reserva de Australia.
- Jiménez, S. (2014), "Actividad minera: desafíos en energía", *Serie Informe Económico-Libertad y Desarrollo*, vol. 236, N° 1 [en línea] [http://www.lyd.org/wp-content/files\\_mf/sie236miner%C3%ADasusana.pdf](http://www.lyd.org/wp-content/files_mf/sie236miner%C3%ADasusana.pdf).
- Lama, R. y J.P. Medina (2012), "Is exchange rate stabilization an appropriate cure for the Dutch disease?", *International Journal of Central Banking*, vol. 8, N° 1, Washington, D.C., Fondo Monetario Internacional.
- Laxton, D. y P. Pesenti (2003), "Monetary rules for small, open, emerging economies", *Journal of Monetary Economics*, vol. 50, N° 5, Amsterdam, Elsevier.
- Lees, K. (2009), "Introducing KITT: the Reserve Bank of New Zealand new DSGE model for forecasting and policy design", *Bulletin*, vol. 72, N° 2, Banco de la Reserva de Nueva Zelandia.
- Leturia, F. y A. Merino (2004), "Tributación y minería en Chile: antecedentes para un debate informado", Centro de Estudios Públicos [en línea] [http://www.cepchile.cl/dms/archivo\\_3393\\_1681/r95\\_%EE%80%80leturia%EE%80%81\\_merino\\_tributacionminera.pdf](http://www.cepchile.cl/dms/archivo_3393_1681/r95_%EE%80%80leturia%EE%80%81_merino_tributacionminera.pdf).
- Medina, J.P. y C. Soto (2007), "The Chilean business cycles through the lens of a stochastic general equilibrium model", *Documento de Trabajo*, N° 457, Santiago, Banco Central de Chile.
- (2006), "Model for analysis and simulations: a new DSGE for the Chilean economy", Santiago, Banco Central de Chile, inédito.
- Meese, R. y K. Rogoff (1983), "Empirical exchange rate models of the seventies: do they fit out of sample?", *Journal of International Economics*, vol. 14, N° 1-2, Amsterdam, Elsevier.
- Meller, P. (2013), *La viga maestra y el sueldo de Chile. Mirando el futuro con ojos de cobre*, Santiago, Uqbar.
- Murchison, S. y A. Rennison (2006), "TOTEM: the Bank of Canada's new quarterly projection model", *Technical Report*, N° 97, Ottawa, Banco de Canadá.
- Natal, J.-M. (2012), "Monetary policy response to oil price shocks", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 44, N° 1, Blackwell Publishing.
- Restrepo, J. y C. Soto (2006), "Regularidades empíricas de la economía chilena: 1986-2005", *Economía Chilena*, vol. 9, Santiago.
- Schmitt-Grohé, S. y M. Uribe (2003), "Closing small open economy models", *Journal of International Economics*, vol. 61, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Smets, F. y R. Wouters (2007), "Shocks and frictions in US business cycles: a Bayesian DSGE approach", *American Economic Review*, vol. 97, N° 3, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- (2003), "An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area", *Journal of the European Economic Association*, vol. 1, N° 5, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Soto, R. y R. Bergoing (1998), "Una evaluación preliminar del impacto económico de El Teniente en la sexta región" [en línea] <http://fen.uahurtado.cl/wp-content/uploads/2010/07/inv111.pdf>.
- Veroude, A. (2012), "The role of mining in an Australian business cycle model", *2012 Conference (56<sup>th</sup>)*, Freemantle, Australian Agricultural and Resource Economics Society, febrero.
- Woodford, M. (2003), *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*, Princeton, Princeton University Press.