



DIVISIÓN ESTUDIOS
GERENCIA DE ANÁLISIS MACROECONÓMICO

IMPACTO DEL PRECIO DEL COBRE EN LA CUENTA CORRIENTE: UN ANÁLISIS ESTRUCTURAL¹

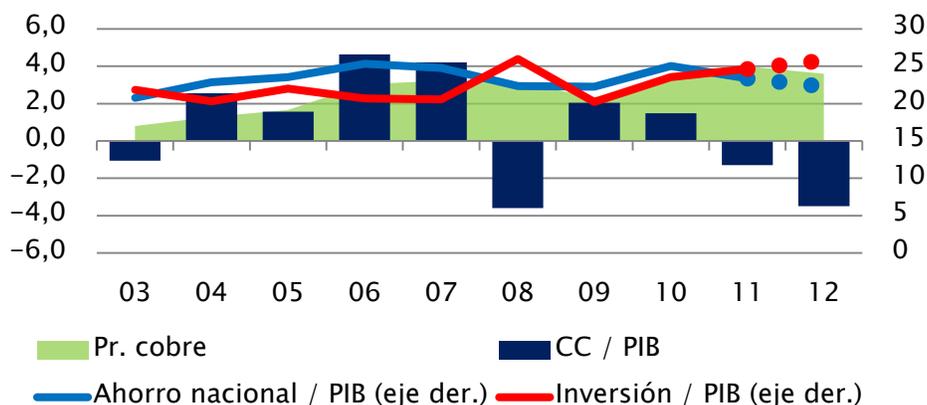
Autores: Jorge Fornero
Markus Kirchner

Marzo de 2013

1. INTRODUCCIÓN

Después de varios años con superávit en las cuentas externas, la economía chilena ha mostrado un déficit de cuenta corriente desde 2010, explicado por un elevado nivel de inversión y una paulatina reducción en el ahorro nacional. Un aspecto llamativo de este proceso de reversión gradual de la cuenta corriente (que pasó desde una posición superavitaria de más de 4% del PIB en 2006 hacia una posición deficitaria de más de 3% del PIB en 2012) es que se comienza a materializar contemporáneamente con la recuperación mundial después de la crisis financiera internacional, en momentos en que el precio del cobre volvió a aumentar de manera significativa hacia fines del año 2009 (gráfico 1).

Gráfico 1: Ahorro, Inversión y Cuenta Corriente vs. Precio del Cobre
(Precio del cobre en US\$/Lb; otras variables en % del PIB nominal)



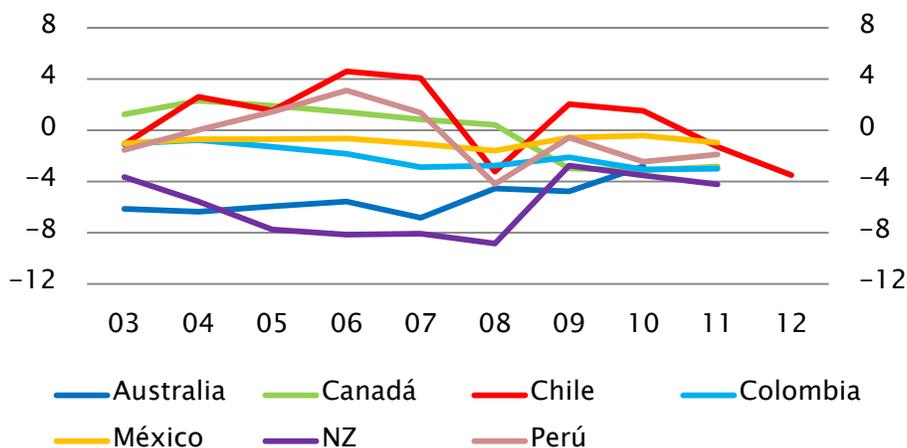
Fuente: Banco Central de Chile. Cifras de 2012 son preliminares.

¹ Se agradecen las sugerencias y comentarios de Javier García-Cicco, Alberto Naudon y Claudio Soto. También se agradece la colaboración de Rodrigo Heresi en etapas tempranas del proyecto. Finalmente, agradecemos los comentarios de Luis Óscar Herrera. Los errores son de nuestra entera responsabilidad.



Una evolución parecida de la cuenta corriente se ha observado en otros países exportadores de productos básicos, y la mayoría de ellos en la actualidad tienen saldos negativos de cuenta corriente (**gráfico 2**). Por ejemplo, las cuentas corrientes de Perú y Canadá presentan reversiones similares a la chilena. Esta observación sugiere que la existencia de un sector productor de bienes básicos, en un contexto de elevados precios, es importante para entender la dinámica de la cuenta corriente. En particular, es probable que el aumento persistente de los precios de productos básicos desde mediados de la década de los 2000 haya contribuido a los altos niveles de demanda interna observados actualmente, y en particular de la inversión minera, y más bajos niveles de ahorro, lo que explicaría una parte de la evolución de la cuenta corriente en este grupo de países. Lo que llama la atención en el caso de Chile es que los aumentos más importantes en el precio del cobre que se dieron a mediados de la década pasada se tradujeron inicialmente en importantes superávits en las cuentas externas. Sin embargo, posteriormente estos superávits se han revertido.

Gráfico 2: Cuenta Corriente en Países Exportadores de Productos Básicos
(% del PIB nominal)



Fuente: Bancos Centrales de Australia, Canadá, Chile, Colombia, Perú, Nueva Zelanda (NZ) y Banco Mundial. Cifras de 2012 son preliminares.

En el marco tradicional de análisis de la cuenta corriente, un aumento en los términos de intercambio percibidos como transitorios dará lugar a un aumento en el ahorro nacional y, consecuentemente, a un aumento en el saldo en cuenta corriente. Por el contrario, si el aumento en los términos de intercambio es percibido como permanente, entonces habrá un aumento en el gasto que puede dar lugar a un deterioro en la cuenta corriente.

El objetivo de este análisis es dar una explicación del comportamiento de la cuenta corriente basada en microfundamentos económicos, y en particular, precisar su relación con el elevado nivel del precio del cobre.

Como la evidencia anterior parece no ajustarse enteramente al marco tradicional de análisis mencionado, esta minuta ofrece un análisis innovador del impacto del *boom* del precio del



cobre en la cuenta corriente.² El análisis está basado en un modelo macroeconómico estructural para la economía chilena que se usa para estimar la contribución del precio del cobre al saldo de la cuenta corriente desde mediados de la década de los 2000 que incorpora dos novedades: imperfecta predictibilidad de los agentes sobre la naturaleza de la persistencia del precio del cobre e inversión minera.

La segunda sección resume algunos antecedentes que muestran que el creciente déficit de cuenta corriente en Chile ha estado asociado con un aumento paralelo de la inversión en minería sin precedentes históricos (desde 1976) que podría explicar parte del déficit de cuenta corriente actual. Además, documentamos que en los últimos años se generó un cambio gradual en la percepción de los agentes económicos de que el aumento del precio del cobre sería más persistente de lo proyectado hasta fines de la década de los 2000. En particular, las proyecciones del precio del cobre de mediano y largo plazo del mercado se han ajustado progresivamente al alza. Este cambio en percepción podría explicar parte de la reversión de la cuenta corriente que se ha observado en los últimos años.

La tercera sección describe brevemente el modelo estructural usado para el análisis, y discute los efectos de un *shock* persistente al precio del cobre en la cuenta corriente. El modelo es consistente con un ajuste gradual de expectativas por parte de los agentes sobre la persistencia del *shock*, donde la proyección del precio futuro de los agentes se ajusta con los errores de proyección hechos en el pasado. Esta parte muestra que un *shock* persistente explica la evolución de un déficit de cuenta corriente en el mediano plazo después de un superávit inicial, debido a un aumento gradual de la demanda interna y la inversión —principalmente en el sector de minería—, donde el lento ajuste de expectativas introduce inercia en el aumento de la demanda lo que genera el superávit de corto plazo.

Finalmente, la cuarta sección presenta una descomposición histórica del precio del cobre en un componente transitorio y un componente persistente según un modelo estadístico simple, suponiendo que los agentes usan alguna variación de este modelo para formar sus expectativas. Luego, los componentes transitorio y persistente del precio del cobre identificados, alimentan a un modelo estructural que se usa para simular el impacto del precio del cobre en la economía y en especial en la cuenta corriente. Los resultados muestran que cambios en la percepción sobre los elevados precios del cobre, la asociada respuesta positiva de la inversión minera y otros componentes de la demanda interna a estos precios, son capaces de explicar gran parte del *boom* de inversión y reversión en la cuenta corriente observados en los últimos años. En particular, el aumento persistente del precio del cobre se habría percibido como transitorio inicialmente, lo que generó mayor ahorro nacional y el consecuente superávit de cuenta corriente a mediados de los 2000, pero más persistente después, generando mayor inversión y demanda, y el déficit de cuenta corriente actual.

² Se podría decir el marco tradicional no se ajusta enteramente a la evolución de los datos porque si consideramos que el *shock* permanente ocurre en 2005-2006, recién la cuenta corriente se vuelve deficitaria en 2011.



2. EVOLUCIÓN DE INVERSIÓN MINERA Y PROYECCIONES DE PRECIO DE COBRE

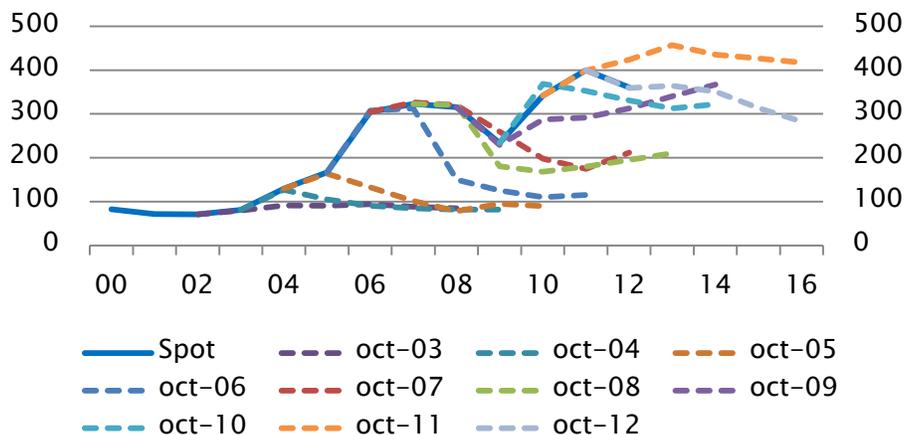
En esta sección analizamos la evolución reciente de las proyecciones del precio del cobre de los agentes del mercado. Dado que el precio del cobre no es influido por Chile en virtud del supuesto de economía abierta y pequeña, brindaremos evidencia que sugiere que el alto precio del cobre efectivo y proyectado explican el reciente *boom* en inversión minera.

Se resaltan las diferencias entre las proyecciones del grupo CRU (reportes de octubre de cada año) previas a la crisis *sub-prime* en comparación con las realizadas posteriormente (**gráfico 3**). Por un lado, el aumento sostenido del precio del cobre (promedio anual) triplicó en 2006 el valor de 2003, pasando de valer 100 centavos por libra a 300. Sin embargo, el rápido ascenso del precio no fue validado con un mayor precio proyectado a mediano / largo plazo: los agentes consideraron este incremento en el precio como *transitorio*.

A causa de la crisis *sub-prime* el precio del cobre cayó y revirtió parcialmente la subida de 2003-2006 alcanzando valores mínimos de 1,5 dólares por libra (aunque los promedios anuales ocultan la dinámica abrupta que tuvo el precio). En perspectiva histórica, esa caída fue de corta duración, y los precios subieron aún más que los previos a la crisis. Hay que resaltar, sin embargo, que los precios más altos post crisis fueron acompañados por proyecciones de los precios mayores consistentes con un mercado que revaluó sus expectativas, otorgándole un carácter más persistente al precio elevado del cobre.

Este contraste que subrayamos en la interpretación de la persistencia de los *shocks* al precio del cobre por parte de los agente es crítico para entender la evolución de la cuenta corriente y de la inversión minera en los últimos años. Más precisamente, al mercado le tomó entre cuatro y cinco años de tiempo cambiar sus expectativas sobre la persistencia del *shock* al precio del cobre.

Gráfico 3: Precio del Cobre Efectivo (*Spot*) vs. Proyecciones de grupo CRU
(US\$ ct/Lb, proyección en octubre de cada año)

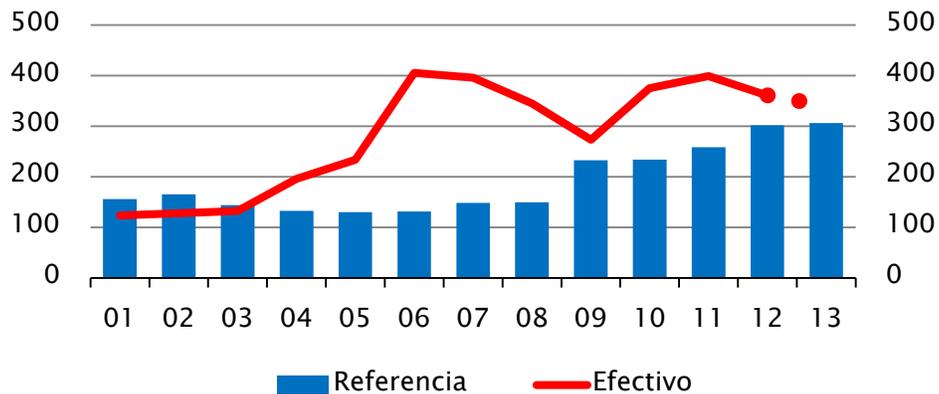


Fuente: Banco Central de Chile y grupo CRU.



La evolución del precio de referencia del cobre utilizado por el Ministerio de Hacienda muestra similitudes con el gráfico anterior. Primeramente, el precio de referencia no aumenta y el fisco ahorra la mayor parte de los ingresos del cobre. Luego de un tiempo prudente se convalida el aumento y revisa al alza el precio de referencia en 2007, 2009 (con más fuerza), 2011, 2012 y 2013. Este aumento del precio de referencia, generó recursos adicionales disponibles para gastar por parte del fisco. (**gráfico 4**)

Gráfico 4: Precio del Cobre Real vs. Precio de Referencia Comité
(US\$ ct/Lb a precios de 2012)



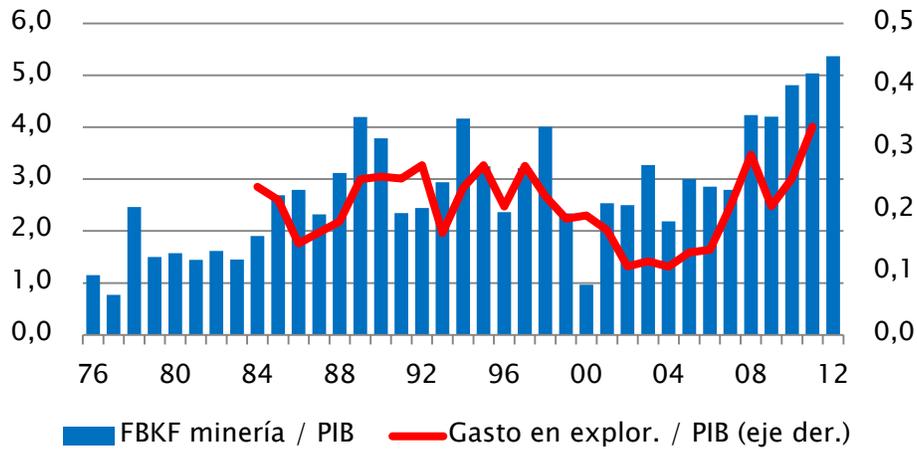
Fuente: Banco Central de Chile, Ministerio de Hacienda de Chile, Actas del Comité del Cobre e Informes de Finanzas públicas. Se usa como deflactor el índice de precios externos (IPE).
Cifras de 2013 corresponden a proyección del IPoM de diciembre 2012.

La inversión en minería ha representado en promedio menos de 2 % del PIB desde 1976 hasta mediados de los 80s (**gráfico 5**). Desde la segunda mitad de los 80s hasta la crisis asiática de 1998, esta alcanzó niveles promedio de alrededor de 3 % del PIB. En lo más reciente, comenzando en 2008 la inversión en minería promedia niveles mayores, entre 4 y 5 % del PIB. El gasto en exploración, por su parte, sigue una dinámica parecida a la inversión; aumentando considerablemente en el último quinquenio.

Es notable que durante la crisis *sub-prime*, la inversión minera solo tuvo un ajuste marginal. Esto se puede relacionar con un nivel elevado de inversión extranjera directa que en 2008 (según Decreto-Ley 600) alcanzó alrededor de 2400 mil millones de USD (**gráfico 6**).



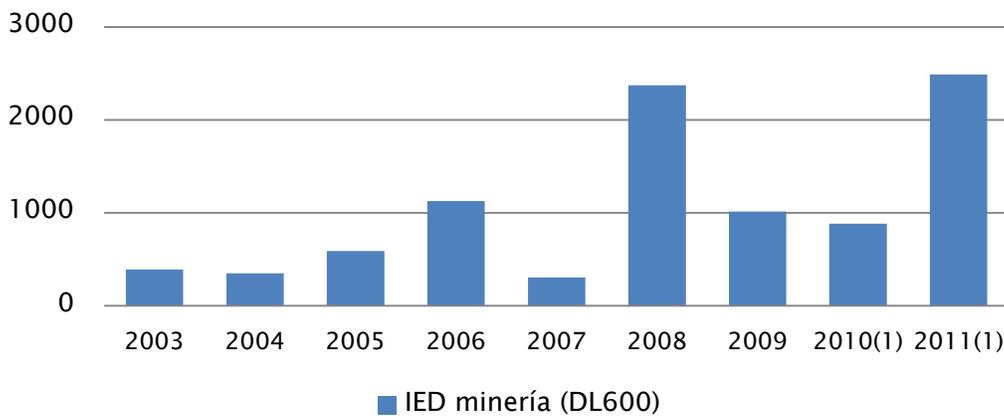
Gráfico 5: Formación Bruta de Capital Fijo y Gasto de Exploración en Minería
(% del PIB nominal)



Fuente: Cochilco, Banco Central de Chile y *Metals Economics Group*. Datos de 2012 son preliminares.

La alta inversión del sector minero que se inició en 2008 se puede calificar de *boom* toda vez que ha duplicado la tasa de inversión histórica (1976-2007). Además, el aumento de la inversión minera del último quinquenio explica una gran parte del aumento de la inversión total, en razón de que la inversión resto aumentó a un ritmo menor (**gráfico 7**).

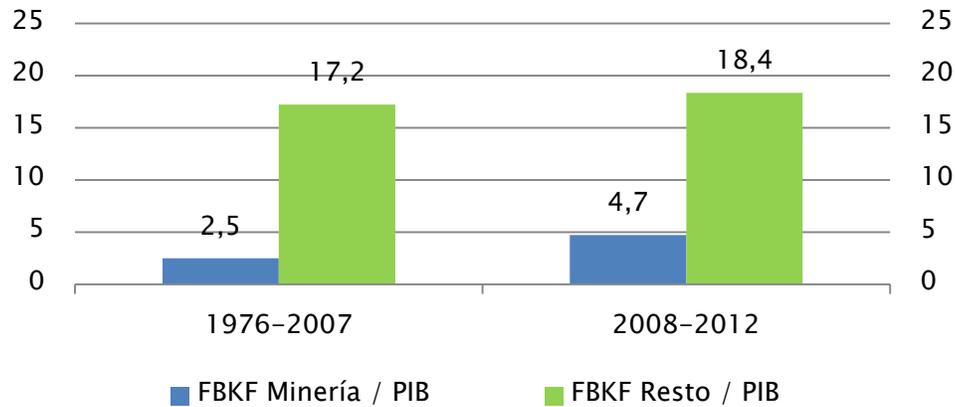
Gráfico 6: Inversión extranjera directa en Minería
(millones de dólares corrientes)



Fuente: Cochilco, Anuario estadístico 2011. (1) indica cifras preliminares.



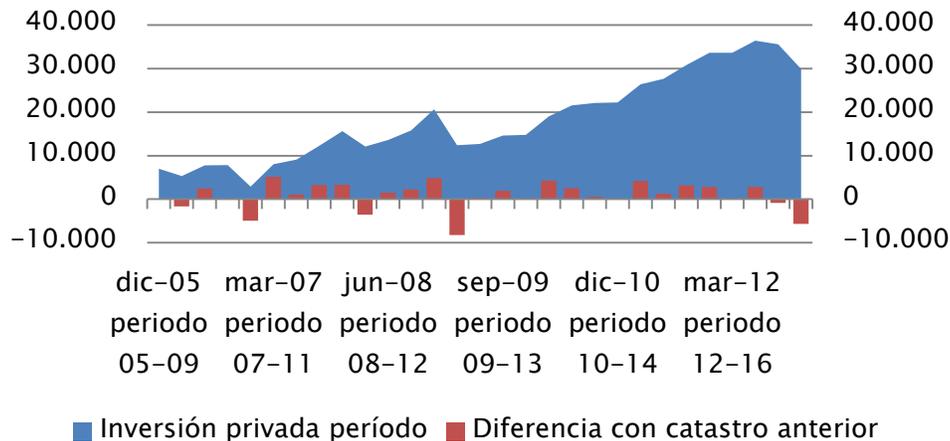
Gráfico 7: Formación Bruta de Capital Fijo en Minería vs. Resto de Sectores
(% del PIB nominal)



Fuente: Banco Central de Chile. Cifras de 2012 son preliminares.

Seguidamente, examinamos la magnitud de la inversión privada proyectada en minería informada por varios catastros de la CBC (**gráfico 8**). El *boom* minero ha significado un aumento tanto en el monto de inversión proyectada como del número de proyectos.

Gráfico 8: Perspectivas para la Inversión de la Minería Privada según Catastro CBC
(millones de US\$)



Fuente: Corporación de Bienes de Capital (CBC).

Así una interpretación estilizada de los datos indica que el *boom* de inversión minera iniciado en 2008 se debe a que los agentes incorporaron que el precio del cobre sería persistentemente más alto. Al mismo tiempo, la inversión ha aumentado considerablemente en los últimos cinco años, llegando a explicar gran parte del aumento de la inversión total de Chile. Los agentes esperan que los precios continúen altos así como la inversión minera. A continuación ofrecemos un análisis más estructural de esta evolución y sus consecuencias para la cuenta corriente.



3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

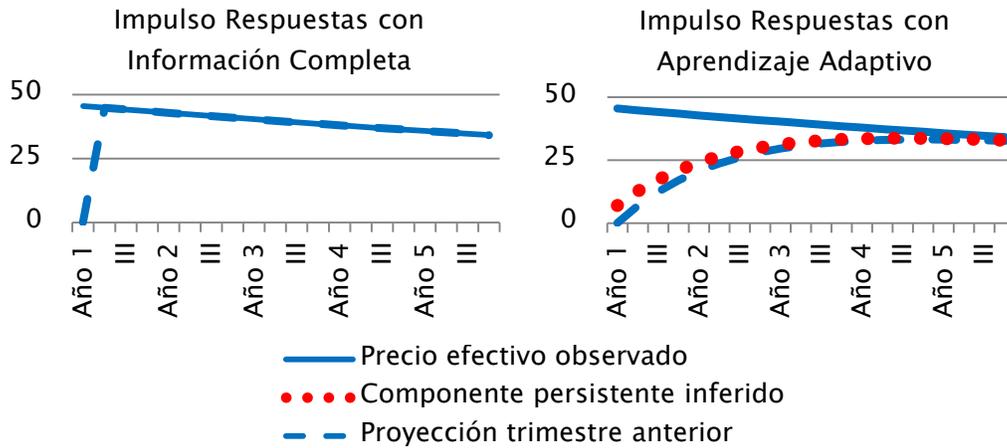
Esta sección describe brevemente el modelo estructural usado para el análisis. El modelo es una extensión del Modelo de Análisis y Simulación (MAS), un modelo estocástico de equilibrio general dinámico para la economía chilena.³ El MAS es un modelo de una economía pequeña y abierta con rigideces reales (costos de ajustes en la inversión y hábitos en el consumo) y nominales (fijación escalonado e indexación de precios), y con varios aspectos claves de la economía chilena. Estos aspectos incluyen una regla fiscal de balance estructural, un tipo de cambio flexible y una política monetaria con una meta de inflación y una tasa de interés como instrumento nominal. El MAS también incorpora un sector exportador de productos básicos –principalmente minería del cobre– con una dotación exógena de recursos naturales y un sector productor de otros bienes domésticos (sector “resto”) que se usan para el consumo y la inversión junto con otros bienes importados. La economía toma como dado el precio del cobre y otras variables internacionales (PIB de socios comerciales, tasas de interés externas, etc.).

Para el propósito del presente análisis, se incorporan dos aspectos adicionales en el MAS (ver Anexo 1). Ambas extensiones reflejan la evidencia resumida en la sección anterior. Primero, mientras que el MAS supone información completa de los agentes económicos sobre el estado de la economía y sus variables claves, el modelo extendido supone información imperfecta sobre la persistencia del precio del cobre. En particular, se supone que los agentes no pueden distinguir perfectamente si fluctuaciones del precio son ciclos prolongados que reflejan “fundamentales” o si son “ruido” de corto plazo. Sin embargo, los agentes aprenden con el tiempo y adaptan sus proyecciones gradualmente con los errores de proyección hechos en el pasado (es decir, hay aprendizaje adaptivo). Cuando hay un *shock* persistente al precio del cobre, los agentes infieren en cada trimestre que la respuesta del precio sería más duradera que lo proyectado en los trimestres anteriores y ajustan la proyección para el próximo trimestre. A medida que pasa el tiempo los agentes van aprendiendo sobre el verdadero proceso que es persistente, cometiendo errores de proyección cada vez más pequeños (**gráfico 9**).

³ Ver Medina y Soto (2007) para una descripción detallada del MAS.



Gráfico 9: Shock Simulado al Precio Real del Cobre (Efectivo, Proyecciones e Inferencia de Componente Persistente), Modelo Estructural
(real, $\Delta\%$ de estado estacionario del modelo)



Fuente: Elaboración propia. *Shock* es normalizado a 45% en el primer año, lo que corresponde a la diferencia entre el precio real del cobre promedio en 2006 y 2,8 US\$/Lb.

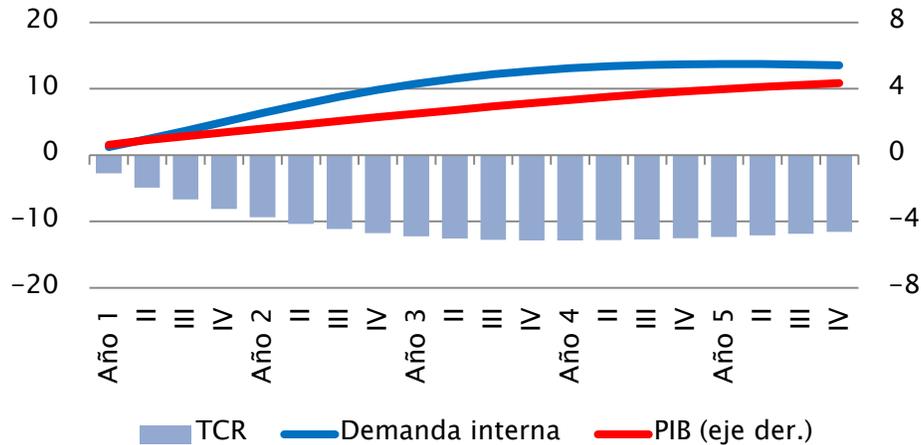
Una segunda extensión es la incorporación de decisiones endógenas de producción e inversión en el sector de minería, en lugar de la dotación exógena de materias primas que supone el MAS. En particular, se introduce una función de producción con capital que es específico al sector de minería, y con retornos decrecientes al capital. Esta extensión refleja, por un parte, la intensidad de la producción minera en capital, y por otra parte, costos marginales crecientes cuando se expande la producción (por ejemplo, por menor ley de minerales extraídos, etc.). Además, la acumulación de capital minero está sujeta a costos de ajustes en la iniciación de proyectos de inversión y *time to build* en la instalación del capital productivo asociado con estos proyectos.⁴

Estos dos aspectos introducen inercia en la inversión minera y capturan el hecho de que la inversión solo reacciona de manera cuantitativamente significativa a aumentos muy persistentes del beneficio marginal de capital. Por lo tanto, el modelo predice que se generan grandes aumentos de la inversión minera cuando el precio del cobre aumenta de forma persistente. Además, el modelo incluye demanda por bienes domésticos e importados en la acumulación de capital minero, con lo cual el modelo incorpora el uso de maquinaria y equipo importado y otros insumos domésticos (principalmente construcción). Este hecho captura efectos indirectos de la inversión minera en otros sectores de la economía, además de sus efectos directos a través de la participación del gobierno en el sector y sus repercusiones en la regla fiscal (ver Medina y Soto, 2007).

⁴ Ver Christiano, Eichenbaum y Evans (2005), Kydland y Prescott (1982) y Uribe y Yue (2006).



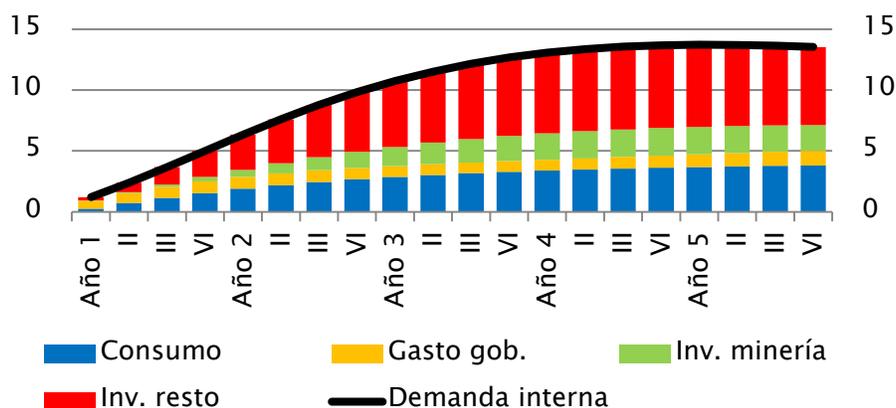
Gráfico 10: Impulso Respuestas de Demanda Interna, PIB y TCR a Shock al Precio Real del Cobre, Modelo Estructural
(real, $\Delta\%$ de estado estacionario del modelo)



Fuente: Elaboración propia.

El modelo descrito anteriormente predice que la demanda interna y el PIB aumentan lentamente ante un *shock* persistente al precio real del cobre, lo cual se traslada en una apreciación gradual del tipo de cambio real (**gráfico 10**). La gradualidad en la dinámica se explica, por una parte, por el lento proceso de aprendizaje de los agentes sobre la duración del *shock*, y por otra parte, por las rigideces incorporadas en el modelo (costos de ajustes y *time to build* en la inversión, hábitos en el consumo, etc.).

Gráfico 11: Impulso Respuestas de los Componentes de la Demanda Interna a Shock al Precio Real del Cobre, Modelo Estructural
(real, $\Delta\%$ de estado estacionario)



Fuente: Elaboración propia.

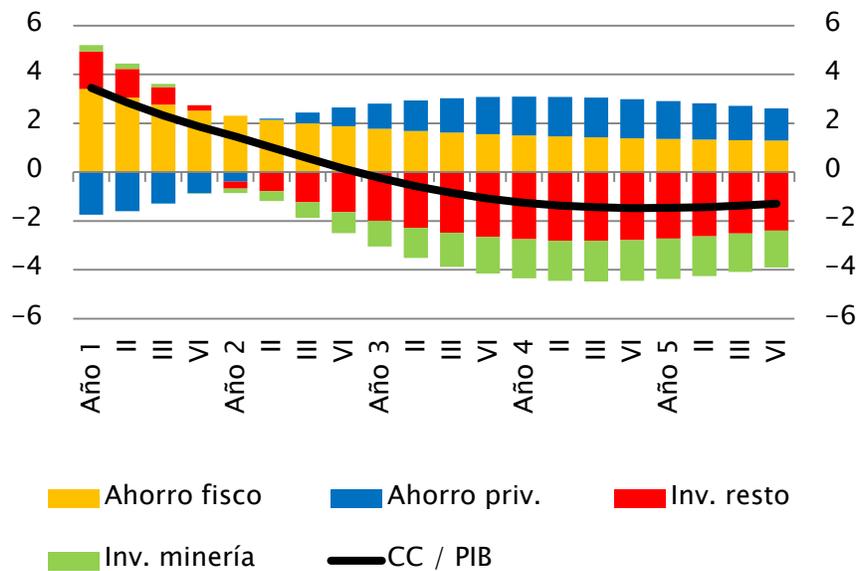
La respuesta de los componentes de la demanda interna —y en particular de la inversión en minería con sus efectos indirectos en el resto de la economía— repercute en la cuenta



corriente (**gráficos 11 y 12**). El fuerte aumento de la inversión genera un déficit de varios puntos del PIB en el mediano plazo. El cambio en la percepción de los agentes acerca de la persistencia del precio del cobre explica la reversión en la cuenta corriente desde una posición superavitaria en el corto plazo. Cabe destacar el rol del ahorro del gobierno, donde prevalece el efecto de ahorro ante *shocks* transitorios a través de la regla fiscal, pero en el mediano plazo el aumento del precio de referencia del cobre debido a la inferencia de un aumento persistente del precio efectivo permite mayor gasto y menor ahorro.⁵

Gráfico 12: Impulso Respuesta de la Cuenta Corriente a Shock al Precio Real del Cobre, Modelo Estructural

(% del PIB nominal, Δ de estadio estacionario; con incidencias)



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, según el modelo estructural presentado, un *shock* persistente al precio del cobre explica la evolución de un déficit de cuenta corriente en el mediano plazo después de un superávit inicial, debido a un aumento gradual de la demanda interna y la inversión —principalmente en el sector de minería—, donde el lento ajuste de expectativas de los agentes introduce inercia en la demanda que genera mayor ahorro durante alrededor de dos años, lo cual lleva a un superávit de cuenta corriente en el corto plazo.

⁵ La incidencia de la inversión como porcentaje del PIB en la cuenta corriente es positiva inicialmente porque aumenta menos que el PIB nominal, posteriormente esta incidencia se vuelve negativa. Adicionalmente, el ahorro privado muestra una incidencia negativa en la cuenta corriente en los primeros trimestres. Este comportamiento de los agentes es consistente con una caída de tasas de interés causada por la baja inflación asociada a la apreciación real. Posteriormente, el ahorro incide positivamente como porcentaje del PIB nominal en la cuenta corriente debido a unas mayores tasas de interés.

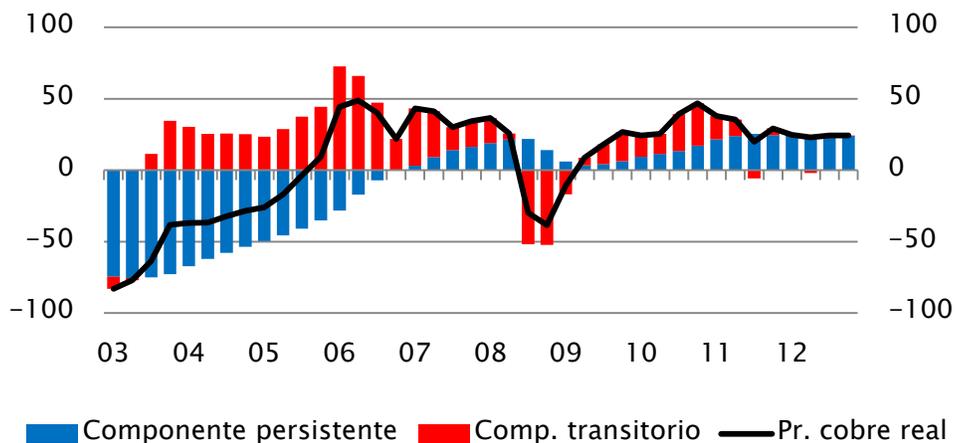


4. DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA

Esta sección presenta una descomposición histórica del precio del cobre en un componente transitorio y un componente persistente según el modelo estructural presentado, para el periodo 2003T1-2012T4, y documenta los resultados de una simulación del modelo que toma como insumos los *shocks* transitorios y persistentes inferidos que explican la dinámica del precio del cobre. Este ejercicio permite estimar, de acuerdo al modelo, la contribución del precio del cobre al saldo de la cuenta corriente en los últimos años.

El modelo infiere una contribución importante del componente persistente al aumento del precio real del cobre en la variación total a partir del año 2007, mientras que se infiere ruido transitorio en los años anteriores. Gran parte de la caída del precio en la crisis de 2008-2009 también se clasifica como evolución transitoria. Además, los resultados muestran que el componente persistente explica casi la totalidad del precio desde fines de 2011 (**gráfico 13**). Por lo tanto, el filtro de Kalman —consistente con el tipo de aprendizaje por parte de los agentes económicos que se supone en el modelo estructural— proyectaría que el precio real del cobre mantendría su nivel elevado actual durante más tiempo de lo proyectado hasta fines de la década de los 2000. Esta inferencia es consistente con las proyecciones del mercado que se discutieron en la segunda sección.

Gráfico 13: Descomposición Histórica del Precio Real del Cobre con Filtro de Kalman, 2003T1–2012T4
(a precios de 2012, $\Delta\%$ de 2,8 US\$/Lb)



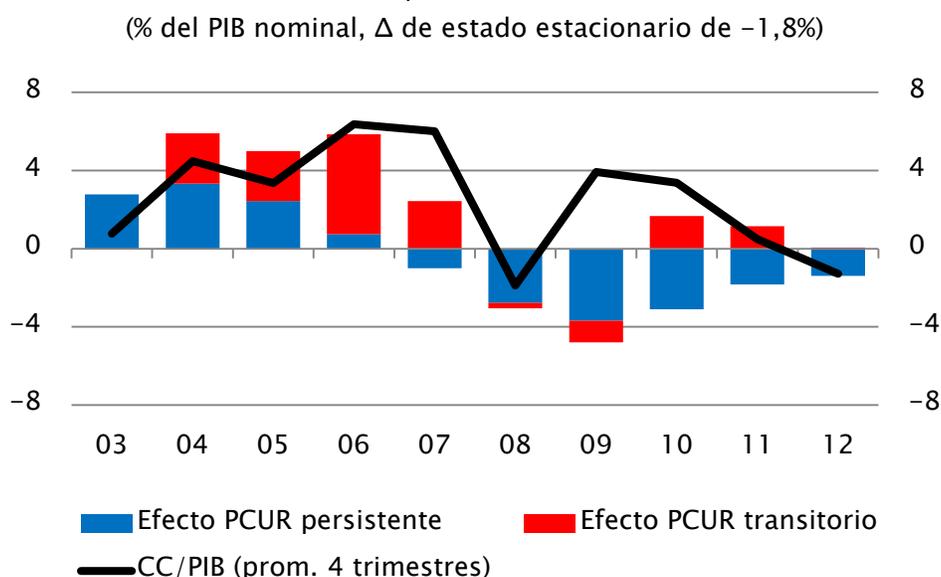
Fuente: Elaboración propia. Precio del cobre nominal de la Bolsa de Metales de Londres, deflactor índice de precios externos (IPE). Estimación con datos entre 1960T1 y 2012T4. Precio del cobre es con desfase de un trimestre para capturar el diferencial del precio *spot* y el precio de exportaciones que se usa para calcular la cuenta corriente.

Según la simulación del modelo estructural alimentado con los *shocks* persistentes y transitorios inferidos, el modelo describe una dinámica de la cuenta corriente similar a la



exhibida por la economía chilena entre 2003 y 2012. En particular, el cambio en percepción de los agentes, junto con la respuesta positiva de la inversión minera y otros componentes de la demanda interna al aumento persistente del precio del cobre inferido, implican una reversión en la cuenta corriente, similar a la observada en Chile desde 2006. De acuerdo con el modelo, un aumento del precio del cobre percibido como transitorio inicialmente, estimula el ahorro nacional y genera un superávit de cuenta corriente en la fase inicial, pero posteriormente el aumento del precio del cobre se percibe como más persistente, dando origen a una mayor inversión, consumo y gasto fiscal, generando un cambio hacia un déficit de cuenta corriente (**gráfico 14**).

Gráfico 14: Efecto Histórico del Precio Real del Cobre en la Cuenta Corriente, modelo estructural



Fuente: Banco Central de Chile. Notas: PCUR = precio real del cobre. Cifras de cta. cte. / PIB de 2012 son preliminares. Estimación con datos entre 1960T1 y 2012T4.

Además, el modelo indica que el déficit de cuenta corriente generado por mayor demanda interna —principalmente inversión en minería y otros sectores— se habría realizado antes del año 2011 si no se hubiera producido una reversión temporaria de la cuenta corriente debido a la crisis de 2008-2009 (empeoramiento de condiciones financieras externas, aumento de ahorro precautorio, etc.).

Con todo, el modelo estructural presentado con cambios en la percepción de los agentes económicos de la persistencia de los elevados precios del cobre observados desde mediados de la década de los 2000, junto con la respuesta de la inversión en minería y otros componentes de la demanda interna a estos precios, son capaces de explicar un *boom* de inversión y reversión en la cuenta corriente similar al observado en Chile durante los últimos años.



REFERENCIAS

- Céspedes, L. F., y C. Soto (2007): “Credibility and Inflation Targeting in Chile,” en: *Monetary Policy under Inflation Targeting*, 1(11), editado por F.S. Mishkin, K. Schmidt-Hebbel, N. Loayza, páginas 547-578, Banco Central de Chile.
- Christiano, L. J., M. Eichenbaum y C. L. Evans (2005): “Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy,” *Journal of Monetary Economics*, 113(1), páginas 1-45.
- Erceg, C. J., y A. T. Levin (2003): “Imperfect credibility and inflation persistence,” *Journal of Monetary Economics*, 50(4), páginas 915-944.
- Kydland, F. E., y E. C. Prescott (1982): “Time to Build and Aggregate Fluctuations,” *Econometrica*, 50(6), páginas 1345-1370.
- Medina, J. P., y C. Soto (2007): “The Chilean Business Cycles Through the Lens of a Stochastic General Equilibrium Model,” *Documentos de Trabajo N° 457*, Banco Central de Chile.
- Uribe, M., y V. Z. Yue (2006): “Country spreads and emerging countries: Who drives whom?,” *Journal of Monetary Economics*, 69(1), páginas 6-36.



Anexo 1 Modelo MAS con Información Imperfecta sobre la Persistencia del Precio del Cobre y con Inversión en Minería

Información imperfecta y aprendizaje

Para introducir información imperfecta sobre la persistencia del precio del cobre en el modelo MAS (ver Medina y Soto, 2007), se supone que el precio real del cobre sigue un proceso estadístico

$$(A1) \quad pcur_t = a_t + b_t, \quad t = 1, 2, 3, \dots,$$

donde b_t es un proceso auto-regresivo de orden uno, $b_t = \rho b_{t-1} + u_t$ con parámetro de persistencia $\rho \in (0,1]$. Las variables a_t y u_t son ruido aleatorio: $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$ y $u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$. El precio efectivo $pcur_t$ es perfectamente observable para los agentes económicos pero sus componentes no lo son y los agentes infieren el componente persistente b_t de manera óptima con el filtro de Kalman de acuerdo con $\hat{b}_t = \rho \hat{b}_{t-1} + K_t \rho^{-1} (pcur_t - \rho \hat{b}_{t-1})$. La variable \hat{b}_t es la inferencia lineal óptima de b_t con la información disponible hasta el periodo t , es decir $\hat{b}_t = E[b_t | pcur_1, pcur_2, \dots, pcur_t]$. Nótese que la inferencia \hat{b}_t y la proyección $\hat{b}_{t+1} = \rho \hat{b}_t$ se ajustan a una tasa $K_t \rho^{-1}$ con los errores de proyección pasados, $pcur_t - \rho \hat{b}_{t-1}$.

El filtro de Kalman de estado estacionario con un parámetro de *Kalman gain* fijo se usa en la práctica, es decir $K_t = K$, siguiendo Erceg y Levin (2003) y Céspedes y Soto (2007). Los parámetros ρ y σ_u se estiman con máxima verosimilitud, fijando un valor de K igual a 0,15 como en Céspedes y Soto (2007), lo cual implica un valor para la razón de ruido a señal σ_a/σ_u igual a 0,17, de lo cual se deduce el valor de σ_a . De la estimación con datos trimestrales entre 1960T1-2012T4 para el precio real del cobre (precio nominal de la Bolsa de Metales de Londres deflactado con índice de precios externos, IPE, del Banco Central de Chile) se obtiene $\rho = 0,9932$ y $\sigma_u = 0,0348$. Con estos parámetros, el componente persistente \hat{b}_t se deduce del filtro de Kalman.

Producción e inversión endógena en el sector de minería

Para introducir decisiones endógenas de inversión y producción en el sector de minería (sector S), se supone que el sector es conformado por una firma representativa que produce un bien primario homogéneo (cobre) con una tecnología de producción con capital que es específico al sector, K_S , de acuerdo a la función de producción

$$(A2) \quad Y_{S,t} = A_{S,t} K_{S,t}^{1-\eta}$$

La variable $A_{S,t}$ es un complemento de productividad de la forma $A_{S,t} = T_{S,t} T_t^\eta$, donde $T_{S,t}$ es un shock de tecnología estacionario específico al sector S y T_t es la tendencia de crecimiento del resto de la economía (es decir, se cumple la condición de crecimiento balanceado del MAS). El parámetro η es positivo y menor a uno, con lo cual la función de producción tiene retornos decrecientes al capital y los costos marginales por unidad de producto crecen con el tamaño del stock de capital.

Como en la versión original del MAS, se supone que (a) la producción se exporta totalmente, (b) el mercado relevante es competitivo, y (c) el gobierno tiene una participación χ en sector S e inversores extranjeros tienen una participación $1 - \chi$. Por lo tanto, las utilidades de la firma en este sector se comparten proporcionalmente. Además, se introducen impuestos *lump-sum* del gobierno sobre las utilidades de los inversores extranjeros a una tasa τ_S . Dado el precio del cobre en moneda local, $P_{S,t} = \varepsilon_t P_t^*$, donde P_t^* es el precio internacional que la firma toma como dado y ε_t es el tipo de cambio nominal (\$ por US\$), las utilidades brutas de la firma representativa se definen como



$$(A3) \quad \Pi_{S,t} = P_{S,t} y_{S,t} - P_{C,t} T_t \kappa,$$

donde $\kappa \geq 0$ son costos fijos de producción en unidades del bien del consumo, escalado por la tasa de crecimiento balanceado para cumplir con la condición de crecimiento balanceado del MAS. El flujo de inversión nominal de la firma es $P_{I_{S,t}} I_{S,t}$ y el flujo de fondos es $CF_{S,t} = \Pi_{S,t} - P_{I_{S,t}} I_{S,t}$. La firma maximiza el valor presente del flujo de fondos futuro en términos reales:

$$(A4) \quad \max E_t \sum_{i=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+i} \frac{CF_{S,t+i}}{P_{C,t+i}}.$$

La acumulación de capital en el sector S es lenta, por dos razones. Primero, hay costos convexos de ajustes en la iniciación de proyectos de inversión (ver Christiano, Eichenbaum y Evans, 2005). Segundo, hay *time to build* en la instalación del capital productivo asociado con estos proyectos: entre la iniciación de proyectos, $X_{S,t}$, y la instalación del capital productivo asociado con estos proyectos pasan $n \geq 1$ periodos (ver Kydland y Prescott, 1982; Uribe y Yue, 2006). En particular, la ecuación de acumulación de capital es

$$(A5) \quad K_{S,t} = (1 - \delta_S) K_{S,t} + \left[1 - \Phi_S \left(\frac{X_{S,t-n+1}}{X_{S,t-n}} \right) \right] X_{S,t-n+1},$$

donde δ_S es la tasa de depreciación relevante en el sector S . La función es cuadrática y non-decreciente en el cambio de los proyectos de inversión en desviación de la senda de crecimiento balanceado, y se interpreta como el número de unidades de capital que se pierden en el proceso de inversión. La inversión efectiva (desembolsada) en periodo t es

$$(A6) \quad I_{S,t} = \sum_{j=0}^{n-1} \varphi_j X_{S,t-j},$$

Donde φ_j denota la fracción de proyectos que se encuentran $j = 0, 1, 2, \dots, n-1$ periodos de su terminación. Es decir, un proyecto se financia sobre el horizonte completo de su instalación. Siguiendo Kydland y Prescott (1982), se supone que $\varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_{n-1}$. Es decir, el costo de financiamiento de un proyecto se reparte uniformemente a lo largo de su horizonte de instalación.

El bien de inversión que se utiliza en el sector S es una canasta CES (*constant elasticity of substitution*) de bienes domésticos, $I_{H,t}(S)$, y bienes importados, $I_{F,t}(S)$:

$$(A7) \quad I_{S,t} = \left[\gamma_{I_S} \frac{1}{\eta_{I_S}} I_{H,t}(S)^{1-\frac{1}{\eta_{I_S}}} + (1 - \gamma_{I_S}) \frac{1}{\eta_{I_S}} I_{F,t}(S)^{1-\frac{1}{\eta_{I_S}}} \right]^{\frac{\eta_{I_S}}{1-\eta_{I_S}}}.$$

De esta manera, dada la inversión total que se genera con la maximización de (A4), la minimización de los costos de la canasta de inversión, $P_{I_{S,t}} I_{S,t}$, da funciones de demanda que dependen de los precios de los distintos bienes, $P_{H,t}$ y $P_{F,t}$:

$$(A8') \quad I_{H,t}(S) = \gamma_{I_S} \left(\frac{P_{H,t}}{P_{I_{S,t}}} \right)^{-\eta_{I_S}} I_{S,t},$$

$$(A8'') \quad I_{H,t}(S) = (1 - \gamma_{I_S}) \left(\frac{P_{F,t}}{P_{I_{S,t}}} \right)^{-\eta_{I_S}} I_{S,t}.$$

Por lo tanto, la demanda por ambos bienes que se genera en el sector S aumenta con la inversión total, $I_{S,t}$.

Una proporción χ del flujo de fondos del sector S va al fisco, y con impuestos sobre las utilidades netas de depreciación de inversores extranjeros. Por lo tanto, la restricción de presupuesto del gobierno descrita en Medina y Soto (2007) es ahora:



$$(A9) \quad \frac{\varepsilon_t B_{G,t}^*}{P_{Y,t} Y_t} \frac{1}{(1+i_t^*)^{\theta_t}} = \frac{\varepsilon_t B_{G,t-1}^*}{P_{Y,t} Y_t} + \tau_t \frac{P_{Y,t} \bar{Y}_t}{P_{Y,t} Y_t} + \chi \frac{CF_{S,t}}{P_{Y,t} Y_t} + \tau_S (1 - \chi) \frac{\Pi_{S,t} - \delta_S Q_{S,t} K_{S,t-1}}{P_{Y,t} Y_t} - \frac{P_{G,t} G_t}{P_{Y,t} Y_t},$$

donde $Q_{S,t}$ es el valor de mercado de $K_{S,t}$ y τ_t son impuestos *lump-sum* a los hogares (como fracción del PIB nominal, $P_{Y,t} Y_t$). El gasto público sigue la regla de balance estructural:

$$(A10) \quad \frac{P_{G,t} G_t}{P_{Y,t} Y_t} = \left(1 - \frac{1}{(1+i_{t-1}^*)^{\theta_{t-1}}}\right) \frac{\varepsilon_t B_{G,t-1}^*}{P_{Y,t} Y_t} + \frac{\tau_t P_{Y,t} \bar{Y}_t}{P_{Y,t} Y_t} + \frac{\chi CF_{S,t}}{P_{Y,t} Y_t} + \frac{\tau_S (1 - \chi) (\Pi_{S,t} - \delta_S Q_{S,t} K_{S,t-1})}{P_{Y,t} Y_t} - \frac{VC_t}{P_{Y,t} Y_t} - \zeta.$$

El término $VC_t = [\chi + \tau_S (1 - \chi) \varepsilon_t (P_t^* - \bar{P}_t^*)] Y_{S,t}$ es el ajuste cíclico que depende del diferencial del precio efectivo, P_t^* , y el precio de referencia, \bar{P}_t^* . El precio de referencia se determina como una proyección del precio efectivo promedio sobre un horizonte de 15 años, donde la proyección es $\hat{b}_{t+h} = \rho^h \hat{b}_t$ para horizonte $h = 0, 1, 2, \dots$ (ver más arriba). La variable \bar{Y}_t es el PIB potencial (PIB de estado estacionario), y el parámetro ζ es la meta de balance estructural.

Finalmente, el saldo de la cuenta corriente es igual al cambio en la posición de inversión internacional del país:

$$(A11) \quad CAY_t = \underbrace{\frac{\varepsilon_t (B_t^* - B_{t-1}^*)}{P_{Y,t} Y_t}}_{\text{Cambio en posición de inversión de portafolio neta}} - \underbrace{(1 - \chi) \frac{Q_{S,t} (K_{S,t} - K_{S,t-1})}{P_{Y,t} Y_t}}_{\text{Cambio en posición de inversión extranjera directa neta}}.$$

Calibración de parámetros

La calibración de los parámetros adicionales se resume en la siguiente tabla.

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
χ	Participación sectorial de minería estatal	0,31	Producción de Codelco sobre total, Cochilco anuario 2011
τ_S	Tasa de impuesto rentas mineras extranjeras	0,35	Tasa de impuesto régimen general rentas empresas extranjeras en Chile
n	Horizonte TTB en trimestres	6	Duración promedio proyectos terminados, CBC 2009T2-2012T4
μ_S	Elasticidad costos de ajustes $\Phi_S(\cdot)$ a ΔX	1,0	Respuesta FBKF minería a precio cobre, VAR 1976-2012
δ_S	Tasa de depreciación anual	0,104	$I_S/Y = 4\%$, inversión minería / PIB, datos CC.NN. 2003-2011
$1 - \eta_S$	Elasticidad de producto a capital	0,28	$Q_S^* K_S/Y = 4^*2$, valor capital minería / PIB 2000-2010, Henriquez (2012), Estudios Económicos Estadísticos N° 63
γ_{IS}	Home bias inv. minería	0,59	Construcción / inversión minería = 59%, datos CC.NN. 2003-2010
T_S	Promedio TFP minería	0,11	$Y_S/Y = 15\%$, PIB minería / PIB, datos CC.NN. 2003-2011
κ	Costo fijo producción minería	0,015	Share de trabajo asalariado / VA minería = 14%, CC.NN. 2009

Nota: TTB significa *time to build*, CBC denota catastro de la Corporación de Bienes de Capital. VAR es un modelo auxiliar que es un vector autoregresivo.