

# Desarrollo del Sector Minero en Chile y sus Consecuencias Macroeconómicas

Juan Pablo Medina<sup>1</sup>  
Universidad Adolfo Ibáñez

Marzo 2017

## Resumen

Este trabajo analiza y cuantifica cómo el sector minero afecta el resto de las variables macroeconómicas de Chile usando tres enfoques complementarios. En primer lugar, presentamos las estadísticas agregadas del sector minero para ilustrar cuán importante ha sido este sector en las principales variables macroeconómicas de Chile. En segundo lugar, por medio de una evidencia econométrica semi-estructural, estimamos la incidencia de cambios en el precio del cobre y la producción minera en las principales variables macroeconómicas de Chile. En tercer lugar, desarrollamos un modelo macroeconómico estructural que permite analizar los efectos del sector minero en el resto de las variables macroeconómicas. Los resultados muestran que el desarrollo del sector minero ha sido beneficioso para el PIB no minero, la inversión, los ingresos fiscales y el mercado laboral. Esto se fundamenta en que los canales ingreso, inversión y encadenamiento productivo del desarrollo minero han sido favorables en el caso de Chile, lo que permite que un desarrollo futuro del sector en Chile siga siendo beneficioso en términos macroeconómicos más allá de los efectos directos en la minería.

---

<sup>1</sup> Se agradece el financiamiento de la Alianza Valor Minero. Todos los posibles errores en este trabajo son de mi exclusiva responsabilidad.

## I. Introducción

Una alta dotación de materias primas es percibido en un país de dos formas contrapuestas: como una “bendición” y como una “maldición”. Una “bendición” porque las materias primas entregan recursos que se multiplican cuando los precios de éstas se elevan, tal como se observó durante la primera parte del siglo XXI. No obstante, si bien una dotación alta en recursos naturales entrega beneficios, también impone desafíos que, en ocasiones, parecieren transformarse en una “maldición” para el desarrollo económico de un país. Estos desafíos se relacionan con el hecho de que el desarrollo del sector de recursos naturales puede restringir el desarrollo de otros sectores económicos. En esta discusión, Chile no ha sido la excepción dada la alta abundancia que tiene en recursos minerales. La economía chilena se benefició sustantivamente con el alza sostenida del precio de cobre que llegó a estar por sobre 4 dólares por libra en 2011 y para luego ver limitada su desempeño económico cuando el precio del cobre se redujo a casi la mitad de lo observado en el 2011 a comienzos del 2016.

En este trabajo analizamos el desarrollo minero de Chile y sus consecuencias macroeconómicas en otros sectores de la economía. Para esto, realizamos tres metodologías complementarias. En primer lugar, presentamos las estadísticas agregadas del sector minero para ilustrar cuán importante es este sector en las principales variables macroeconómicas de Chile. En segundo lugar, por medio de una evidencia econométrica semi-estructural, estimamos la incidencia de cambios en el precio del cobre y la producción minera en las principales variables macroeconómicas de Chile. En tercer lugar, desarrollamos un modelo macroeconómico multisectorial que permite analizar los efectos del sector minero en el resto de las variables macroeconómicas. Con este modelo, podemos realizar ejercicios contra-factuales que estiman la contribución que tuvo el desarrollo minero en el período 1996-2005 en las principales variables macroeconómicas. Junto con ello, con el modelo estructural podemos estimar los cambios que se originarían en las variables macroeconómicas en diferentes escenarios de desarrollo minero futuro.

Nuestros principales resultados son los siguientes. La evidencia econométrica muestra que cambios en el precio del cobre y la producción minera afectan de manera relevante la producción no minera, la inversión total y los ingresos fiscales, entre otras variables. Esta evidencia también sugiere el potencial rol del encadenamiento productivo del sector minero con los otros sectores de la economía para explicar el efecto positivo y significativo que tiene un incremento del precio y/o producción del sector minero en el PIB del sector no minero. El modelo estructural confirma lo anterior, al mostrar que la estimación de éste tiene un mejor ajuste empírico cuando se incluye el encadenamiento productivo del sector minero que cuando este se elimina del modelo.

Este modelo estructural estima una contribución sustantiva de los factores productivos de la minería entre 1996 y 2005. Estas consecuencias macroeconómicas no estuvieron adscritas sólo al sector minero si no que significaron expansiones en variables macroeconómicas, tales como el PIB no minero, la inversión, los ingresos fiscales, el empleo y los salarios. Con todo, durante esa década, 1,3 puntos porcentuales del crecimiento del PIB total podrían atribuirse al desarrollo minero de aquellos años.

De forma similar, al analizar el potencial de desarrollo productivo minero en las regiones quinta y metropolitana, vemos que podría proporcionar beneficios macroeconómicos más allá del sector minero. Así, un escenario de desarrollo minero en las regiones quinta y metropolitana en comparación al caso sin proyectos en las mismas regiones entregaría mejoras simultáneas en crecimiento económico, inversión, ingresos fiscales y empleo.

Es importante destacar que el presente trabajo no incluye un análisis de las externalidades económicas y sociales que genera la producción minera, tales como los efectos medioambientales. Existen otros estudios que han cuantificado los externalidades medioambientales de la producción de recursos naturales no renovables (e.g. minería metálica, petróleo) con un marco analítico similar al de este trabajo, sugiriendo que la cuantificación económica de estos efectos no es despreciable.<sup>2</sup> Es de esperar que otros estudios pudieran complementar el presente análisis en la cuantificación de las externalidades medioambientales del desarrollo minero.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma. En la siguiente sección discutimos una breve reseña de los estudios macroeconómicos del sector minero en Chile y sus consecuencias. Al mismo tiempo presentamos estadísticas que ilustran la importancia relativa del sector minero en varios indicadores macroeconómicos chilenos. En la sección III, presentamos la evidencia econométrica semi-estructural que estima los efectos de cambios del precio del cobre y la producción minera en las principales variables macroeconómicas de Chile. En la sección IV mostramos los resultados de estimar un modelo macroeconómico estructural para Chile y presentamos varios ejercicios contra-factuales del desarrollo minero y sus consecuencias, tanto basado en datos históricos como escenarios potenciales de producción futura. La sección V contiene comentarios finales. Un apéndice técnico presenta el modelo macroeconómico estructural en detalle, su derivación y su estrategia de cuantificación empírica.

## **II. Relevancia macroeconómica del sector minero en Chile**

El desarrollo del sector cobre ha estado estrechamente ligado con el desempeño económico de Chile tanto en los siglos XIX y XX como en las primeras dos décadas del siglo XXI. En el siglo XIX, Valenzuela (1996) muestra que entre 1844 y 1870 se produce una expansión significativa de las exportaciones de cobre de Chile y argumenta que esto fue facilitado por la introducción innovaciones tecnológicas en los métodos de fundición del mineral. En 1870, Chile llegó a producir el 42% de la producción mundial de cobre. No obstante, en 1900 Chile producía sólo el 5% de la producción mundial de cobre a pesar de las ventajas comparativas que poseía. Algunos postulan que el decaimiento de la producción de cobre en Chile del siglo XIX fue una consecuencia de una mala regulación de la industria minera que limitaron los incentivos a invertir en el sector en comparación a lo que aconteció en EE.UU. (ver Culver y Reinhart, 1989). Por su parte, destacando la importancia del sector en Chile en siglo XX, Meller (2013) ha llamado al sector cobre la “viga maestra y el sueldo de Chile”.

---

<sup>2</sup> Ver por ejemplo, Angelopoulos et al (2010), Figueroa y Calfucura (2003), Figueroa et al (2008), Fischer y Springborn, (2011), Golosov et al (2013), Heutel (2012), entre otros.

En consecuencia, la caída del precio del cobre en los años recientes ha alertado sobre si la capacidad de crecimiento del PIB de Chile se ha reducido. Eyraud (2015) analiza esta pregunta y concluye que es probable que la caída reciente del precio del cobre tenga un efecto persistente (aunque no permanente) sobre el crecimiento del PIB. Esta conclusión se contrapone en parte a la evidencia internacional de que una abundancia relativa de recursos naturales reduce el crecimiento económico. Esta evidencia sustenta la aseveración de que la abundancia de recursos naturales es una maldición, dificultando el desarrollo productivo de otros sectores productivos. Por lo tanto, una reducción en el precio del cobre podría ser beneficioso para el desarrollo económico de otros sectores en Chile.

¿Chile ha sufrido de la maldición de los recursos naturales? ¿Ha sido beneficioso la producción y exportaciones de cobre para el desarrollo del país? Mirando el período entre 1960 y 1998, Spilimbergo (1999) concluye que el precio del cobre es importante tanto para las fluctuaciones de corto plazo como para el crecimiento económico de largo plazo. De Gregorio (2009) argumenta que, en el caso de Chile, el cobre ha sido beneficioso para el crecimiento económico, ya que Chile tiene un alto grado de apertura comercial y una buena calidad institucional, factores que revierten el efecto negativo de la abundancia de recursos naturales en el crecimiento económico de los países, según refinamientos de la evidencia internacional.<sup>3</sup> Según estimaciones de Meller (2013), la minería del cobre ha desempeñado un rol crucial en el ritmo de crecimiento económico en el período posterior a 1990. Esto se sustenta en que las ventajas comparativas de este sector en Chile ha atraído inversión extranjera y porque el auge del precio del cobre después del 2004 permitió un aumento del ingreso y gasto real de diversos agentes económicos. Con el modelo estructural desarrollado abajo volveremos a revisar esta pregunta, cuantificando cuánto del desarrollo productivo de la minería durante 1996-2005 podría haber incidido en las principales variables macroeconómicas del país.

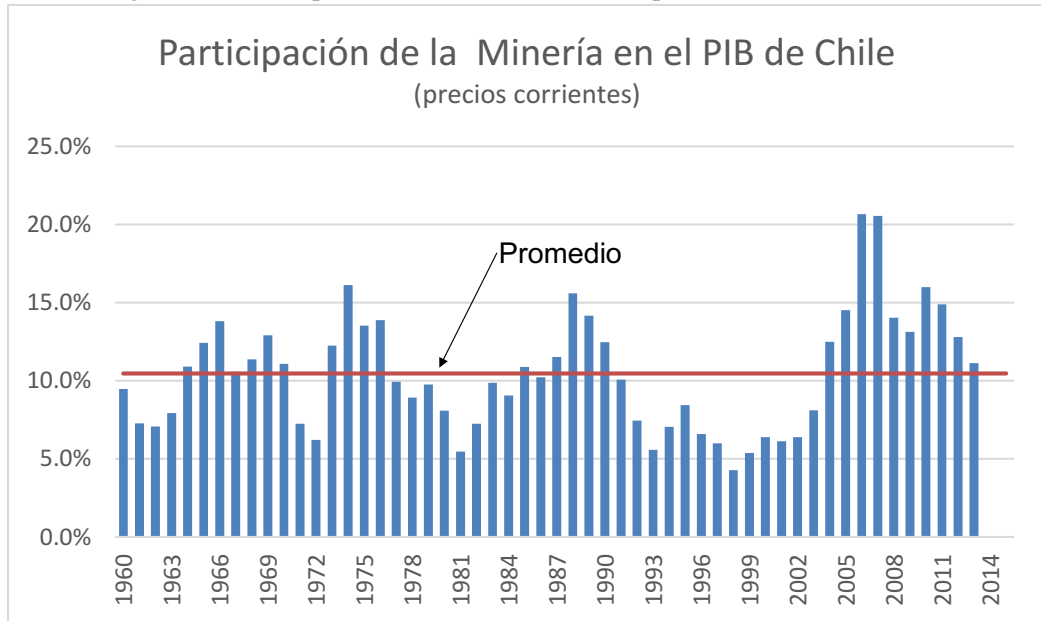
¿Cuán importante ha sido el sector minero y el cobre en la economía Chilena? La figura II.1 muestra que el valor agregado del sector minero ha representado una fracción entre 5 a 15% del PIB total de la economía desde 1960. En los años más recientes, esta participación de la minería ha estado más cerca del rango 10 a 15%, particularmente por el alza del precio del cobre. Dentro de la minería, el cobre constituye el mineral principal, explicando cerca del 90% del PIB minero (ver figura II.2).

Como mencionamos anteriormente, la minería del cobre incide positivamente en el desarrollo y crecimiento económico porque atrae inversiones en dicho sector. La importancia de la inversión del sector minero en el capital total de la economía se ha ido profundizando en los últimos años. Así, la figura II.3 muestra que, hasta el 2004 la participación del sector minero en la inversión era similar al tamaño relativo del PIB minero. No obstante, desde el 2005 la inversión minera ha tenido una contribución creciente en la inversión y el stock de capital de la economía.

---

<sup>3</sup> Por ejemplo, Arezki y van der Ploeg (2007) encuentran que economías con menos restricciones al comercio exterior y con buena calidad institucional tienen un efecto menos negativo de los recursos naturales en el crecimiento económico. Por su parte, Sachs y Warner (1997) muestran que la dotación de recursos naturales permite a las economías crecer más rápido si éstas tienen buena calidad institucional.

Figura II.1. La importancia de la minería en la producción total de Chile



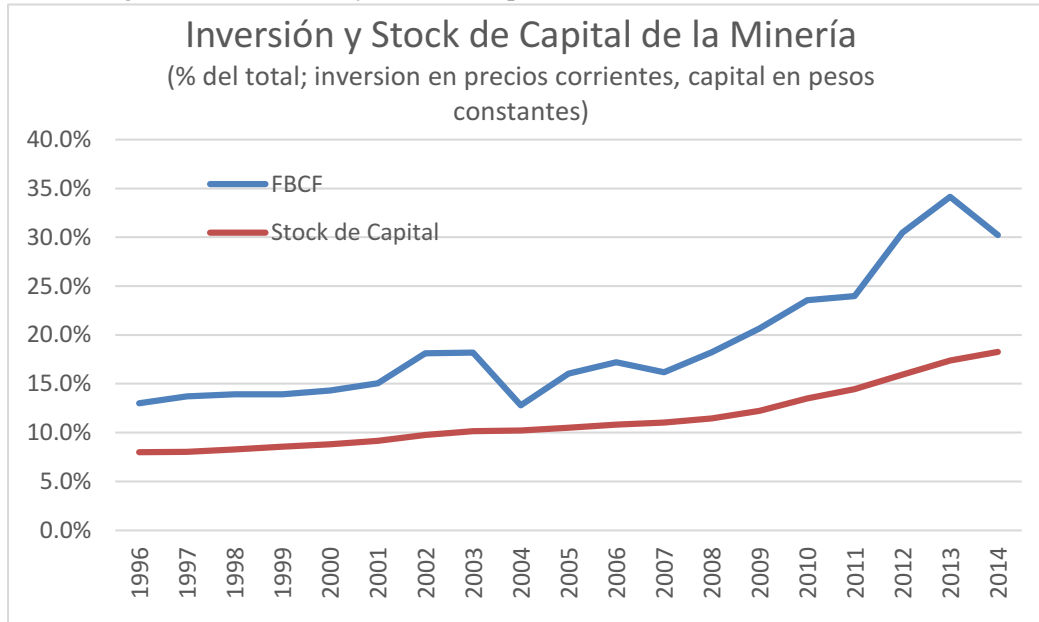
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Chile, Cochilco y Meller (2013).

Figura II.2. La importancia del cobre en la producción minera de Chile



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Chile y Meller (2013).

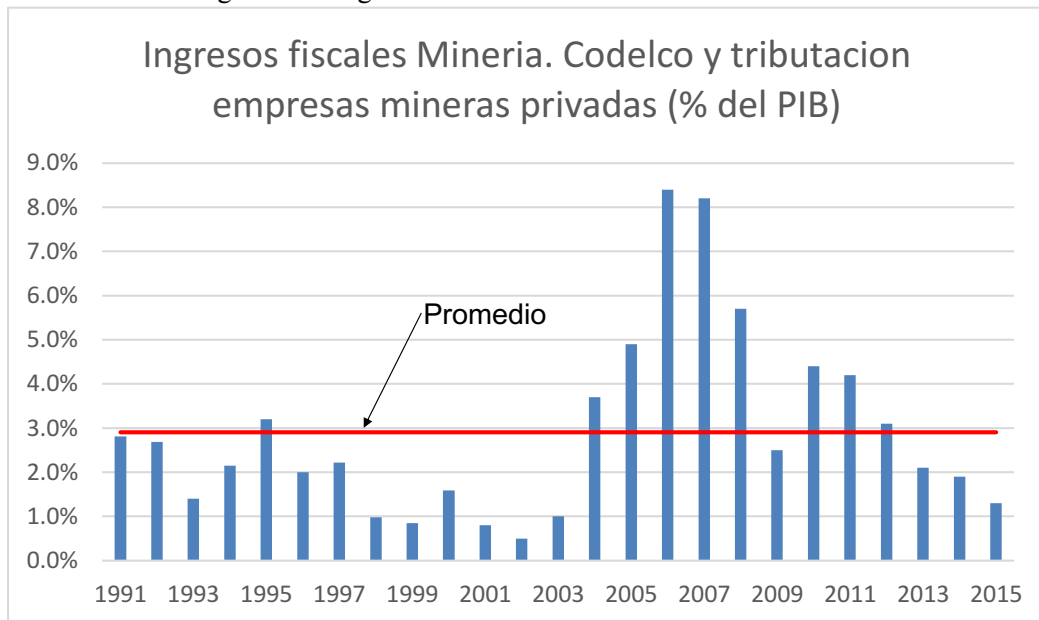
Figura II.3. Inversión y stock de capital de la minería en el total de Chile.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Chile.

El sector minero y el cobre no son sólo relevantes para el PIB y la inversión de la economía, sino que también para los ingresos fiscales. La figura II.4 muestra que los ingresos fiscales provenientes de Codelco y de la tributación de las empresas productoras de cobre privadas han proporcionado ingresos fiscales promedios en torno a 3% del PIB, pero con oscilaciones debido a las fluctuaciones en el precio del cobre.

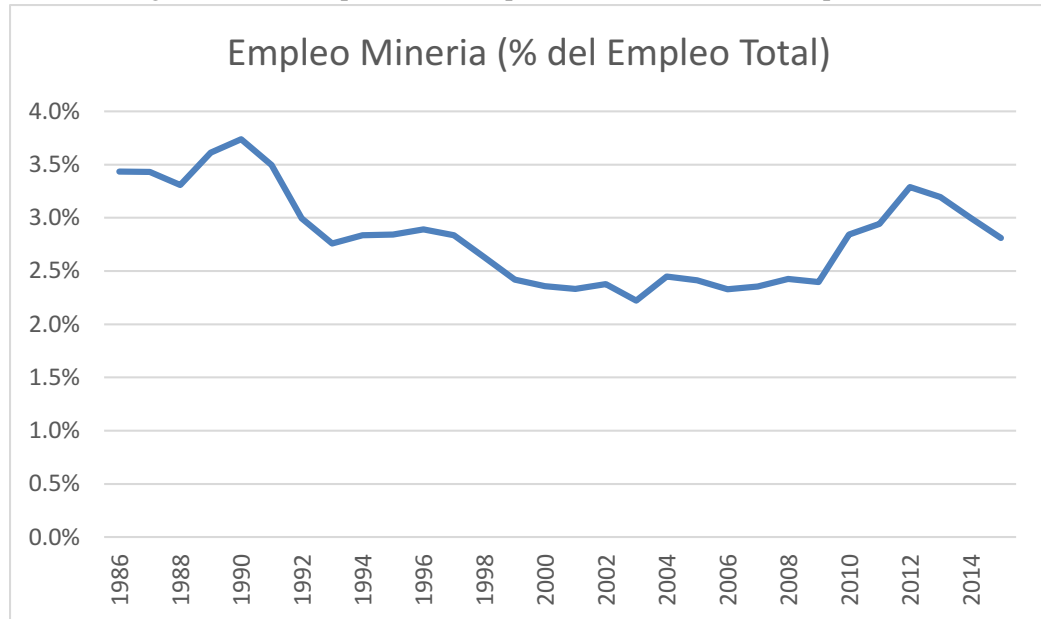
Figura II.4. Ingresos fiscales derivados del sector minero



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dipres y Meller (2013).

En contraste con la importancia del sector minero en el PIB total, la inversión y los ingresos fiscales, el empleo del sector minero es sólo un 3% del empleo total de la economía (ver figura II.5). Esto refleja que la participación del factor trabajo en el valor agregado de la minería es un tercio del valor en torno a 50% que es la participación del trabajo en el PIB total.

Figura II.5. Participación del empleo de la minería en el empleo total



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE y Banco Central de Chile.

Tabla II.1. Participación de la remuneración al trabajo en el valor agregado

	Minería	Total PIB
<b>2008</b>	12.4%	40.2%
<b>2009</b>	13.5%	41.5%
<b>2010</b>	10.0%	39.7%
<b>2011</b>	11.1%	40.8%
<b>2012</b>	15.0%	42.8%
<b>2013</b>	15.7%	43.6%

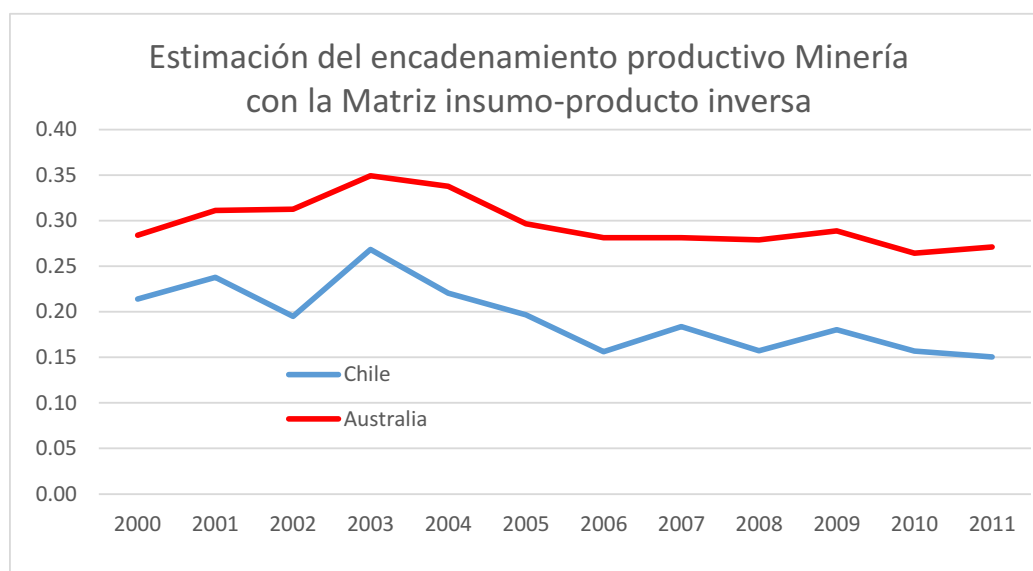
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE y Banco Central de Chile.

Es importante notar que la mayoría de los estudios que analizan los efectos macroeconómicos del sector minero omiten como canal posible un encadenamiento productivo, centrándose exclusivamente en los efectos en los ingresos de la minería y la inversión.<sup>4</sup> Esto por cuanto la minería se le considera un sector enclave y que su capacidad productiva no está mayormente relacionada con lo que ocurre con la producción de otros sectores. No obstante, existe un encadenamiento productivo que sugiere que una fracción de la producción no minera es usada como insumo intermedio en la producción minera. Por ejemplo, si utilizamos los efectos

<sup>4</sup> Excepciones son Fuentes y García (2014) y Caputo e Irrarrázaval (2017).

directos e indirectos que se derivan de la matriz insumo-producto inversa de Chile entre el 2008 y 2013, en promedio, exportar 100 dólares de cobre requiere 110 dólares de producción bruta de cobre y 45 dólares de insumo intermedio de otros sectores económicos. Pensando que la producción de valor agregado de los sectores no mineros corresponde al 50% de su producción bruta, uno podría estimar que las exportaciones brutas mineras requieren aproximadamente 22,5% de insumo intermedios no minero en caso de Chile. La figura II.7 muestra este mismo cálculo usando la base de datos de la OECD para el período 2000-2011 y permite comparar el encadenamiento productivo de Chile con otro productor de cobre, como es Australia.<sup>5</sup> Así, observamos que el encadenamiento productivo del sector Minero es prácticamente la mitad de lo que se estima para Australia.

Figura II.6. Encadenamiento productivo de la minería en Chile y Australia



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la OECD.

Por otra lado, para poner la producción minera de Chile en perspectiva internacional, es necesario resaltar que Chile es el principal productor de Cobre, explicando en torno al 30% de la producción total del mundo (ver Gana y Meller, 2015). El segundo productor tiene tan sólo un 9% de la cuota de producción. Al mismo tiempo, las estimaciones de reservas y recursos mundiales de cobre también ubican a Chile en el primer lugar con una cuota de 30%, muy por encima de las cuotas de Australia y Perú (ver Gana y Meller, 2015).

Dentro de Chile, una significativa fracción de las reservas y recursos de Cobre se encuentran en las regiones quinta y metropolitana. Toro et al (2012) han cuantificado alrededor de 200 millones de toneladas de cobre fino que podrían obtenerse de los recursos estimados en las regiones quinta y metropolitana (ver tabla II.2). En comparación con la explotación productiva de las reservas y recursos de la zona norte del país, las regiones quinta y metropolitana han tenido un desarrollo productivo menor en relación a las reservas y recursos

<sup>5</sup> Es importante destacar que la base de datos de la matriz insumo-producto de la OECD no es exactamente igual a la del Banco Central de Chile, por cuanto en la homologación de los datos entre países es necesario realizar ajustes a los datos.



estimados en dichas regiones (ver Jara et al, 2016). Por ello, estas estimaciones de recursos minerales sugieren un potencial desarrollo productivo para la minería en la zona central.

Tabla II.2. Estimación de recursos de cobre en las regiones quinta y metropolitana

Área	Recursos (Millones TM)	% de cobre	Cobre contenido (Millones TM)
Andina			
Recursos	16.908	0,63	106,4
Los Bronces			
Recursos	13.695	0,67	91,1
<b>Subtotal</b>			<b>197,5</b>

Fuente: Toro et al (2012).

En resumen, la minería del cobre explica una fracción sustancial de la producción de la economía, la inversión y los ingresos fiscales. Tampoco hay que despreciar el encadenamiento productivo de la minería en la generación de valor económico indirecto de la producción minera. Junto con ello, la capacidad productiva de la minería del cobre ubica al país como el principal productor a nivel internacional. La minería del cobre sigue teniendo un potencial para seguir desarrollándose, dadas las ventajas comparativas que muestran grandes estimaciones de reservas y recursos en el país. La ubicación geográfica de estas reservas y recursos plantea desafíos, toda vez que estos se encuentran en la zona central del país, donde usualmente se ha tenido una escala de operación minera menor que en la zona norte.

### III. Evidencia econométrica semi-estructural

La sección previa analizó estadísticas macroeconómicas sencillas que evidencian la importancia relativa que tiene la minería en las variables macroeconómicas. En esta sección exploramos más formalmente cuales son los efectos que tiene el sector minero en las principales variables macroeconómicas desde un punto de vista econométrico. El enfoque en esta sección no es necesariamente estructural, ya que se estiman los efectos en las variables macroeconómicas sin comprender con exactitud los canales por medio de los cuales cambios en el sector minero inducen efectos macroeconómicos. Así, estas estimaciones capturan efectos directos e indirectos de la minería en las variables macroeconómicas.

La metodología usada en esta sección consiste en estimar vectores autorregresivos (VAR) que buscan cuantificar el efecto de cambios en el precio del cobre y la producción minera en un conjunto de variables macroeconómicas.<sup>6</sup> La metodología de estimar VAR para

<sup>6</sup> Para cada variable analizada estimamos un VAR trimestral con cuatro rezagos con el precio del cobre, la producción minera, el tipo de cambio real y la variable de interés, de forma de no perder demasiados grados de libertad en la estimación.

cuantificar causa y efectos en macroeconomía ganó popularidad desde el trabajo pionero de Sims (1980), que buscaba identificar los efectos de cambios en la política monetaria.<sup>7</sup>

En esta estimación usamos series trimestrales desde 1996 a 2016. Las variables consideradas son: Precio cobre internacional, tipo de cambio real, PIB real Minero, PIB real no Minero, Inversión real, Empleo total, salarios reales, ingresos fiscales reales. Usamos series desestacionalizadas excepto para el caso de los ingresos fiscales que son expresados como año móvil. En el caso del tipo de cambio real y el precio del cobre, se expresan como desvíos logarítmicos con respecto al promedio observado en el período. En el caso de las otras variables, éstas se incluyen como desvíos logarítmicos con respecto a sus tendencias, las cuales son estimadas por medio de un filtro Hodrick-Prescott.

Para cada VAR estimado consideramos el siguiente orden para la identificación de corto plazo de los choques económicos: precio internacional del cobre; el tipo de cambio real; la producción minera; y la variable analizada. De esta forma, consideramos que la variable analizada es la más endógena del sistema, mientras que el precio del cobre es la variable más exógena. Asumimos que el tipo de cambio real se ajusta más rápidamente que un cambio en la producción minera. En primer lugar, analizamos cómo los cambios en el precio del cobre afectan las variables macroeconómicas. En segundo lugar, analizamos cómo variaciones en la producción minera que no tienen efectos en el precio del cobre inciden en el mismo conjunto de variables macroeconómicas.

#### **a. Efectos de los cambios en el precio del cobre**

La figura III.1 muestra la respuesta del precio del cobre y la producción minera a una innovación en el precio del cobre de una desviación estándar. Esta magnitud corresponde a un incremento temporal de 10-12% en el precio internacional de cobre. En esta figura y en las siguientes, se muestra la respuesta hipotética que tiene una variable macroeconómica cuando la economía sólo se experimenta un aumento transitorio en el precio del cobre. Los órdenes de magnitud se interpretan como los desvíos porcentuales con respecto a un escenario de largo plazo o tendencial. En cada respuesta se presenta la estimación mediana y el intervalo de confianza de 95%.

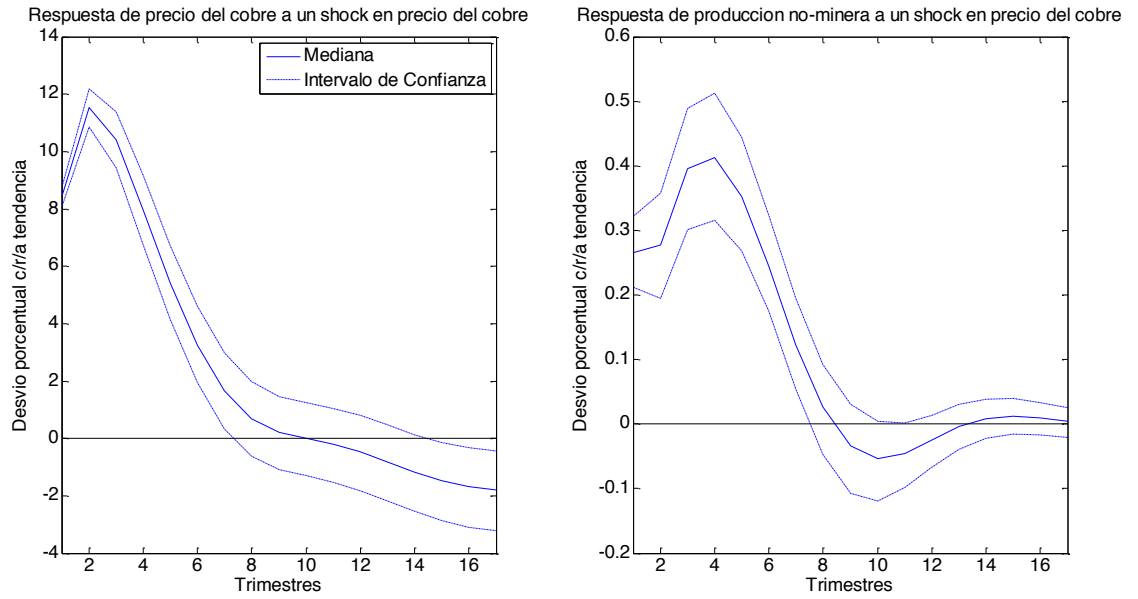
Podemos concluir que un aumento transitorio del precio del cobre entre 10-12% induce un aumento transitorio de la producción no minera entre 0,3 y 0,5% al cabo de un año. Este resultado es importante porque muestra que un aumento en el precio del cobre no reduce la escala de producción de los sectores no mineros, como lo sugeriría la teoría del “Síndrome Holandés”. Esta teoría postula que el aumento del precio del cobre genera incentivos para reasignar recursos desde el resto de sectores hacia la minería, haciendo que la minería crezca en desmedro del resto de los sectores económicos. Por lo tanto, el resultado econométrico sustenta que el incremento en el precio del cobre induce otros efectos que compensan estos efectos negativos en la producción no minera. Una posibilidad son los efectos ingreso que implican que un alza del precio del cobre hace que aumente la demanda interna de bienes, entre ellas la demanda por bienes del sector no minero. Otra posibilidad lo constituye el

---

<sup>7</sup> Para una revisión reciente de esta metodología y sus aplicaciones se puede ver el trabajo Stock y Watson (2001).

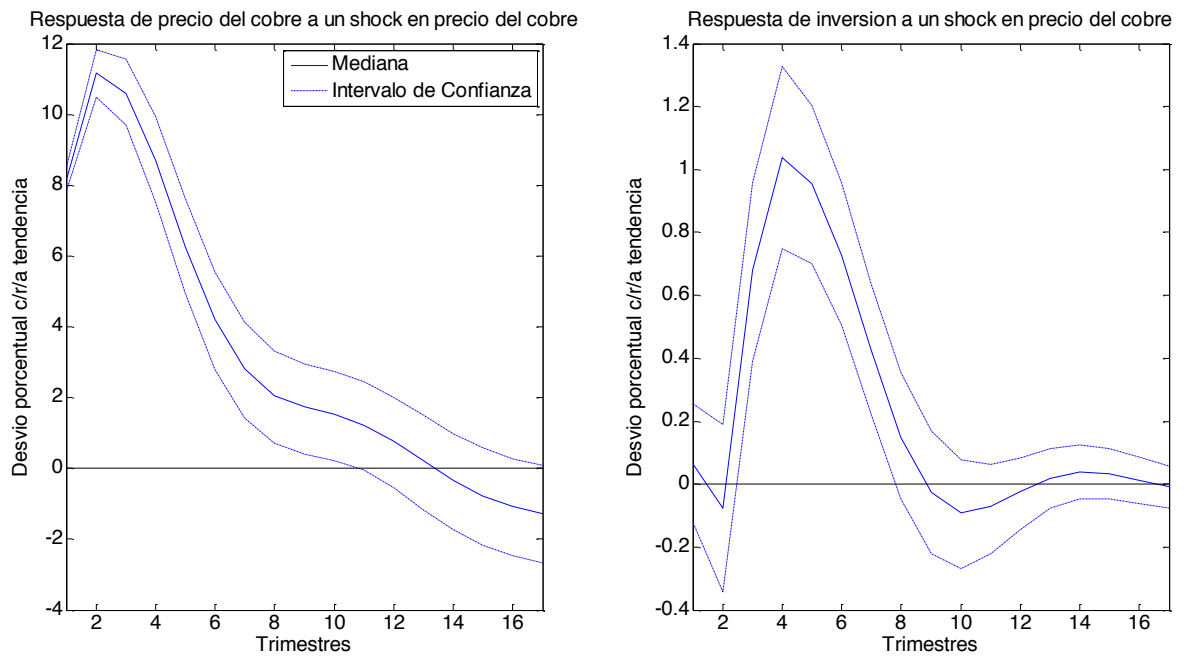
encadenamiento productivo de la minería con el resto de los sectores económicos que puede hacer la producción no minera sea complementaria al desarrollo minero.

Figura III.1. Respuestas del PIB no minero a un aumento en el precio del cobre



Fuente: Elaboración propia.

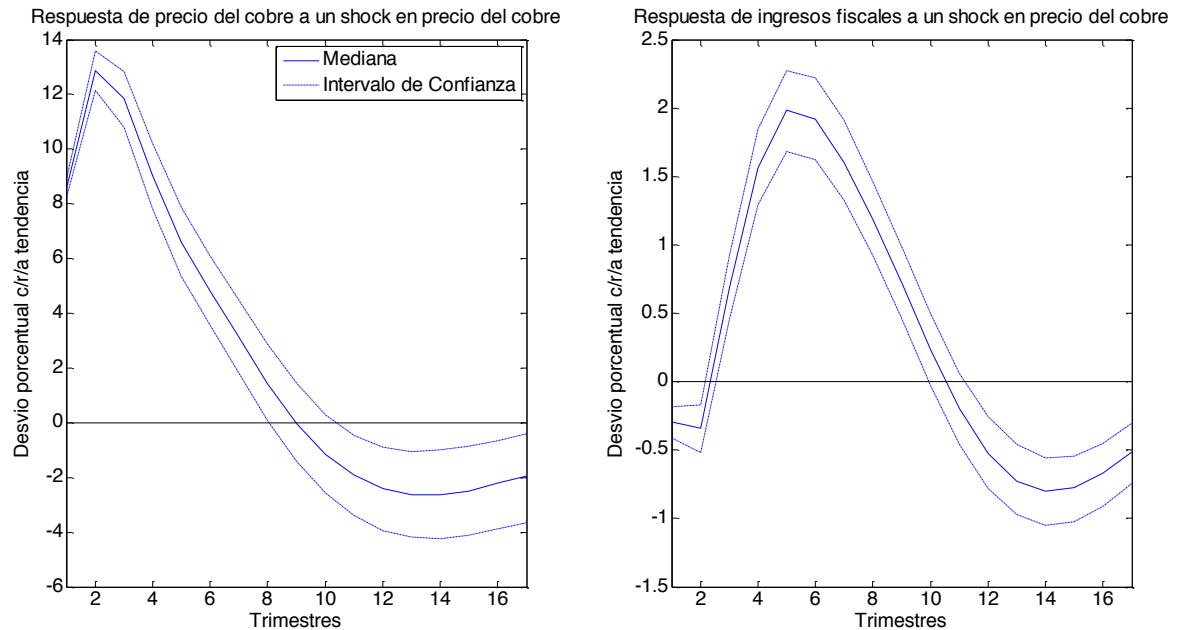
Figura III.2. Respuestas de la inversión a un aumento en el precio del cobre



Fuente: Elaboración propia.



Figura III.3. Respuestas de los ingresos fiscales minero a un aumento en el precio del cobre

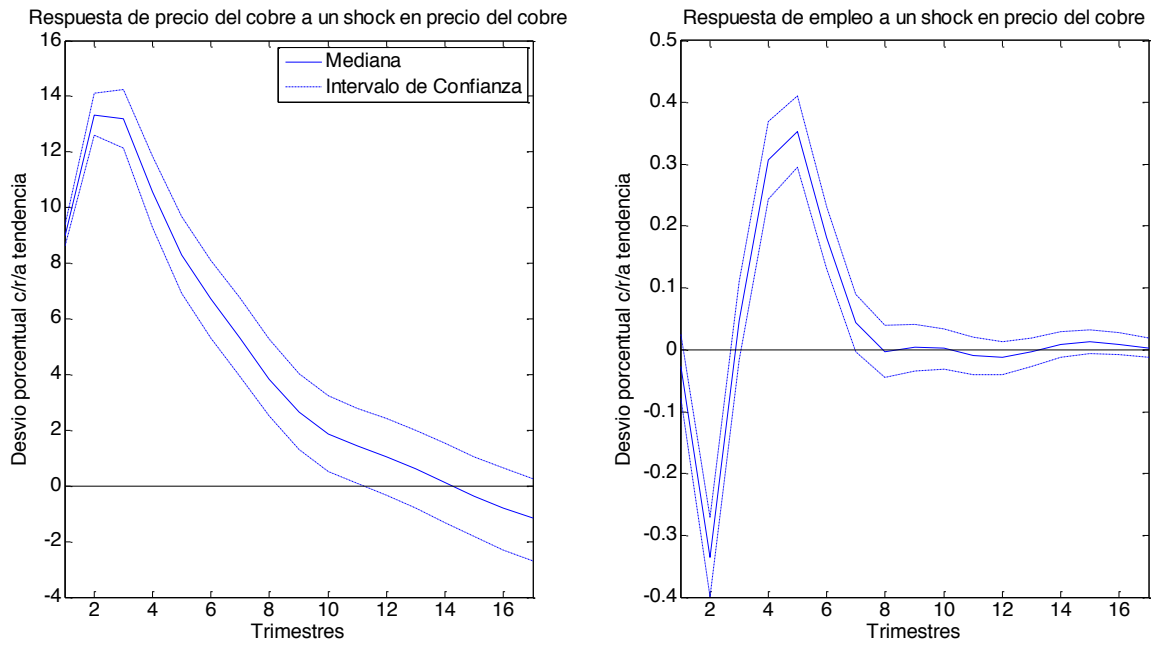


Fuente: Elaboración propia.

Las figuras III.2 y III.3 muestran las respuestas de la inversión y los ingresos fiscales a un incremento transitorio al precio del cobre de 10-12%. Así, se estima que la inversión podría aumentar transitoriamente alrededor de 1% al cabo de un año, mientras que los ingresos fiscales lo harían en torno a 2%. Es importante notar que el aumento de la inversión es en el total del país, de forma que incluye tanto lo que sucede con la inversión minera como la inversión en sectores no mineros. Dado que la producción no minera tiende a aumentar con un aumento transitorio del precio del cobre, es probable que la inversión no minera también responda positivamente al aumento del precio del cobre. El aumento de los ingresos fiscales incluye tanto los efectos mayores ingresos fiscales directos derivados de los sectores mineros (Codelco) como efectos indirectos por medio de la tributación sector minero y no minero. Dado los niveles promedios de los ingresos fiscales atribuidos a la minería (Codelco y tributación minera), tenemos que un aumento del precio del cobre de 10%, podría tener un efecto parcial y directo de 1,3% de mayores ingresos fiscales. Por lo tanto, el aumento estimado de 2% de mayores ingresos fiscales también sugiere la presencia de efectos indirectos que aumentan los ingresos fiscales derivados desde los otros sectores de la economía.

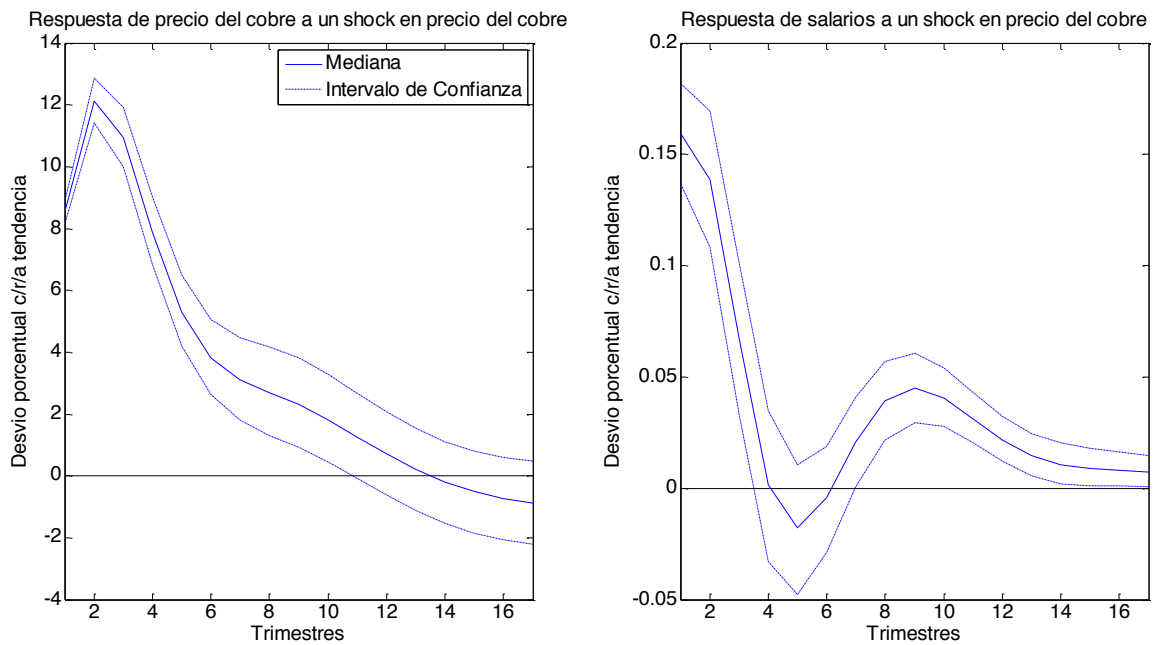
Las respuestas del empleo y los salarios reales a un aumento transitorio de 10-12% en el precio del cobre se muestran en las figuras II.4 y II.5. Observamos que este aumento en el precio del cobre inicialmente tendería a reducir un poco el empleo en el corto plazo, para luego incrementarlo levemente al cabo de un año. Coherente con este comportamiento, los salarios tenderían a aumentar marginalmente.

Figura III.4. Respuestas de los ingresos fiscales minero a un aumento en el precio del cobre



Fuente: Elaboración propia.

Figura III.5. Respuestas de los ingresos fiscales minero a un aumento en el precio del cobre



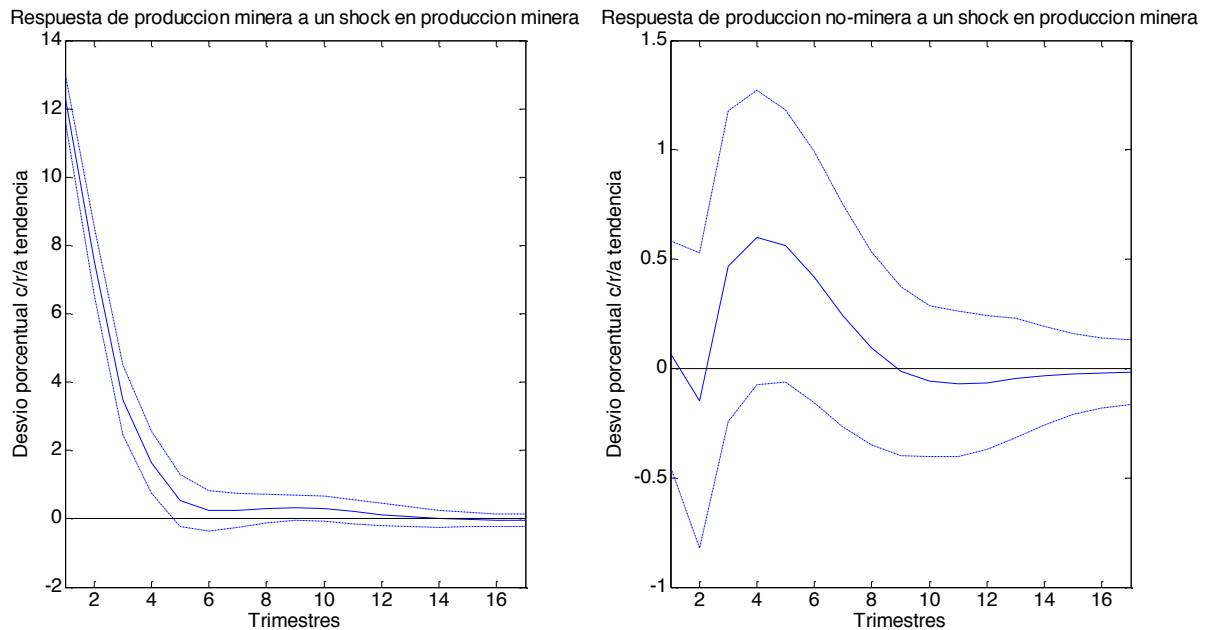
Fuente: Elaboración propia.

## b. Efectos de cambios en la producción minera

En esta subsección analizamos como un aumento transitorio en la producción minera afectan las mismas variables macroeconómicas. Al igual que en las estimaciones previas este es un ejercicio hipotético que busca estimar aisladamente el efecto de un cambio en la producción minera en las variables macroeconómicas, dejando otros factores constantes. Dado que la estructura del modelo econométrico implica que un cambio en la producción minera puede tener efectos en el precio del cobre, consideramos la combinación de cambios que simultáneamente aumentan la producción minera transitoriamente en torno a 12%, pero dejando el precio del cobre inalterado. Esto lo hacemos para poder cuantificar el efecto exclusivo de los cambios de la producción minera, abstraéndonos de la posibilidad de que estén originados o correlacionados con cambios en el precio del cobre.

La figura III.6 muestra la respuesta de la producción no minera a un aumento exclusivo de 12% de la producción minera. Nuevamente observamos un impacto positivo en la producción minera en torno 0,5-0,6%, que ilustra la relevancia de los efectos ingreso y/o de encadenamiento productivo de la minería con el resto de los sectores económicos.

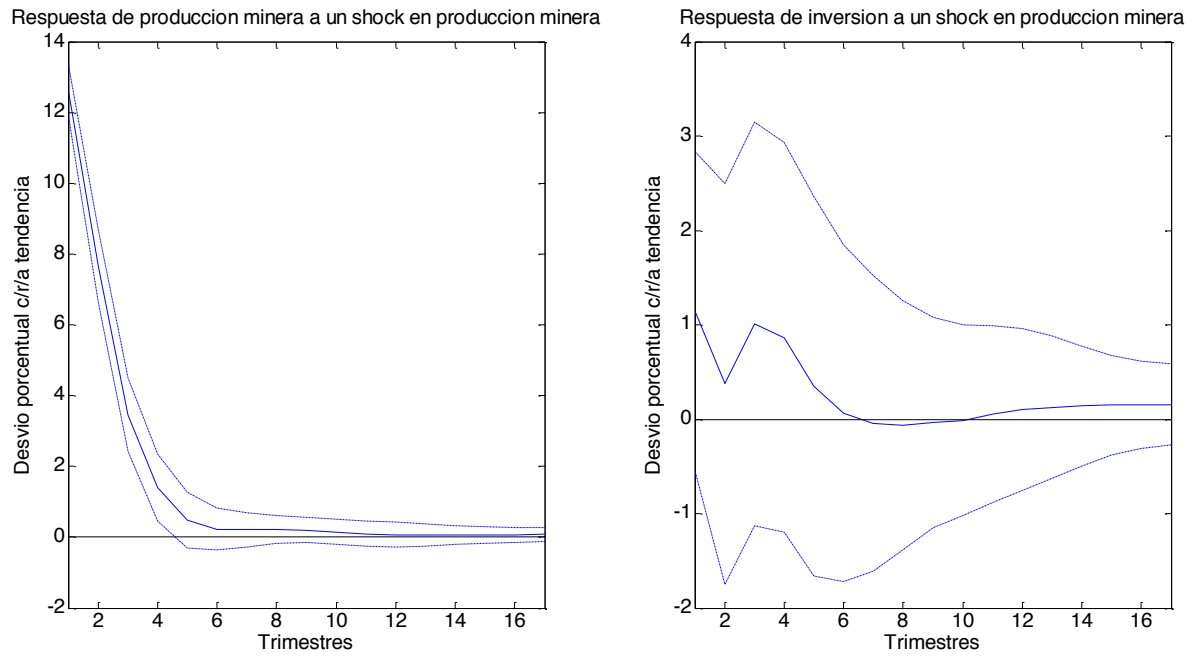
Figura III.6. Respuestas de la producción no minera a un aumento en la producción minera



Fuente: Elaboración propia.

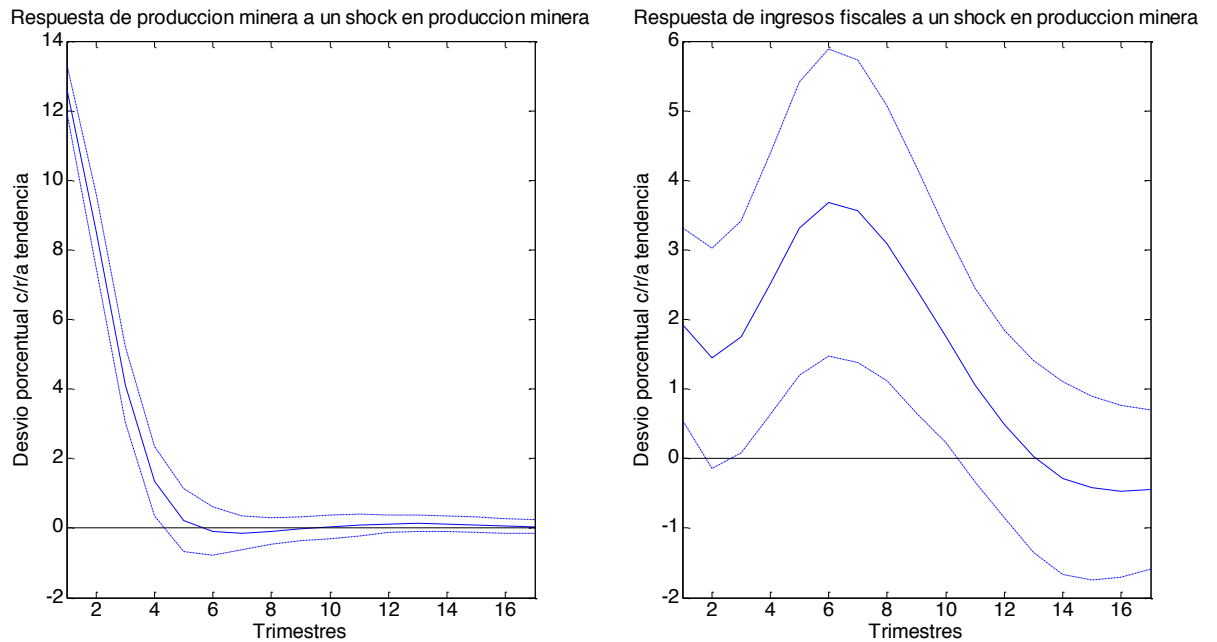
Las figuras III.7 y III.8 presentan las respuestas de la inversión y los ingresos fiscales a un aumento transitorio de la producción minera de 12%. Este aumento transitorio en la producción minera implicaría un aumento de 1% en la inversión, aunque no es necesariamente estadísticamente significativo. Al mismo tiempo, los ingresos fiscales pueden incrementarse en cerca de 3,5% con un aumento de la producción minera de 10-12%.

Figura III.7. Respuestas de la inversión a un aumento en la producción minera



Fuente: Elaboración propia.

Figura III.8. Respuestas de los ingresos fiscales a un aumento en la producción minera



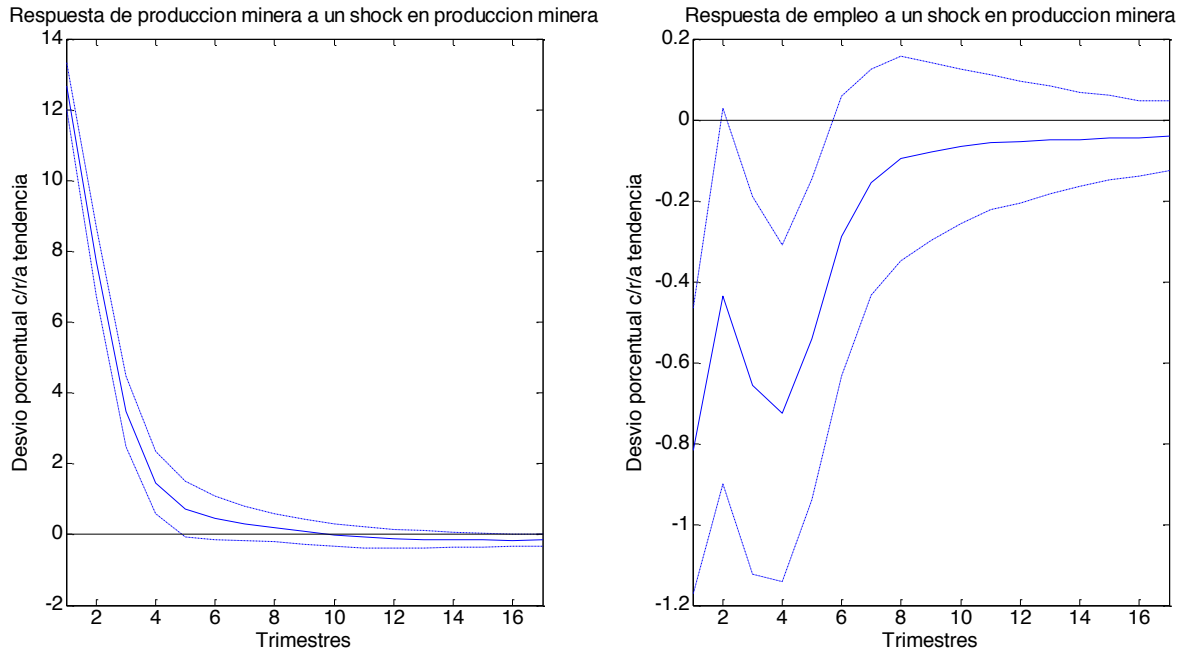
Fuente: Elaboración propia.

Las respuestas de las variables agregadas del mercado laboral se muestran en las figuras III.9 y figuras III.10. La estimación sugiere que un aumento transitorio de 12% en la producción minera reduciría en 0,6% el empleo total. Esto contrasta con el efecto estimado positivo que



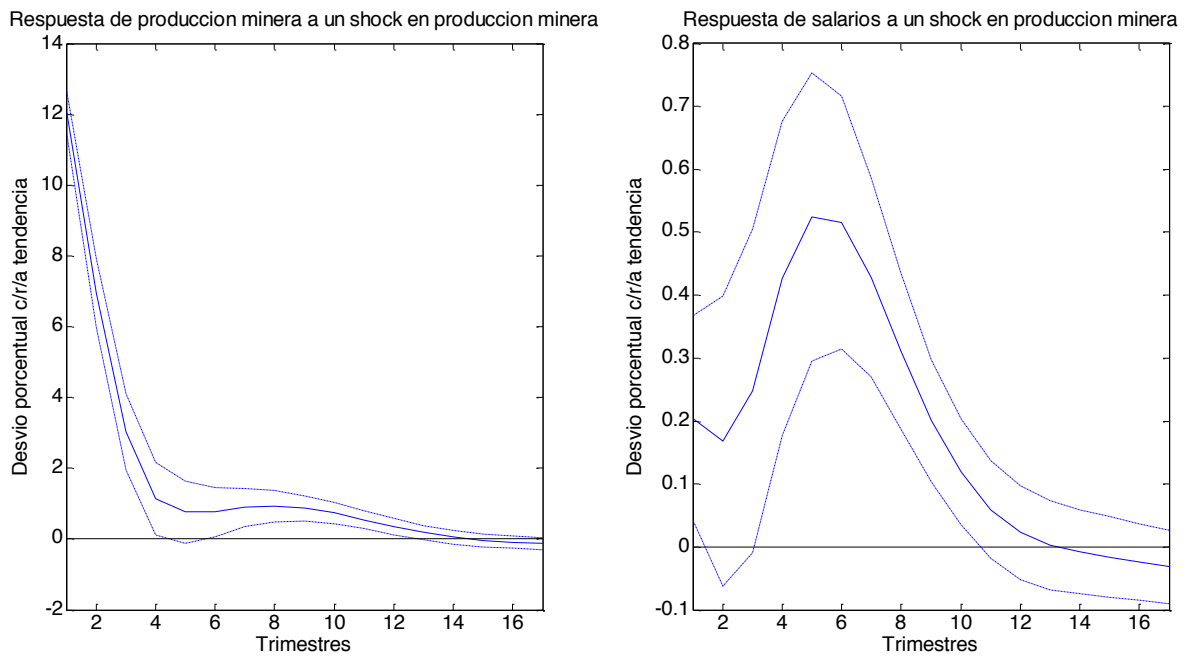
se obtuvo con un aumento transitorio en el precio del cobre. A diferencia del caso del precio del cobre, este aumento en la producción si genera un incremento más sostenido de los salarios reales, en torno a 0,5%.

Figura III.9. Respuestas de los ingresos fiscales a un aumento en la producción minera



Fuente: Elaboración propia.

Figura III.10. Respuestas de los ingresos fiscales a un aumento en la producción minera



Fuente: Elaboración propia.

Esta evidencia econométrica semi-estructural muestra que cambios en el precio y la producción minera impactan de manera sustantiva las variables macroeconómicas, más allá de los efectos directos en el sector minero. En particular, la producción no minera, la inversión y los ingresos fiscales se benefician cada vez que el precio o la producción minera mejora.

No obstante, esta evidencia no permite identificar los canales por medios de los cuales se impactan estas variables y en qué forma estos canales se compensan o refuerzan. Además, esta evidencia econométrica está basada en un período específico del desarrollo económico de Chile. El episodio usado para la estimación incluye el súper-ciclo del precio de las materias primas, la gran recesión y tasas de interés en niveles mínimos en EE.UU. y otras economías desarrolladas. Estos factores no volverán a repetirse y, por lo tanto, no sabemos con exactitud cómo afectaron la interacción de los diferentes canales de transmisión. Por esta razón, en la siguiente sección desarrollamos un modelo macroeconómico estructural para complementar las estimaciones anteriores. El modelo estructural puede proporcionar más disciplina teórica para capturar efectos directos e indirectos de cómo el sector minero incide en las variables macroeconómicas.

#### **IV. Modelo macroeconómico estructural para cuantificar escenarios del desarrollo minero**

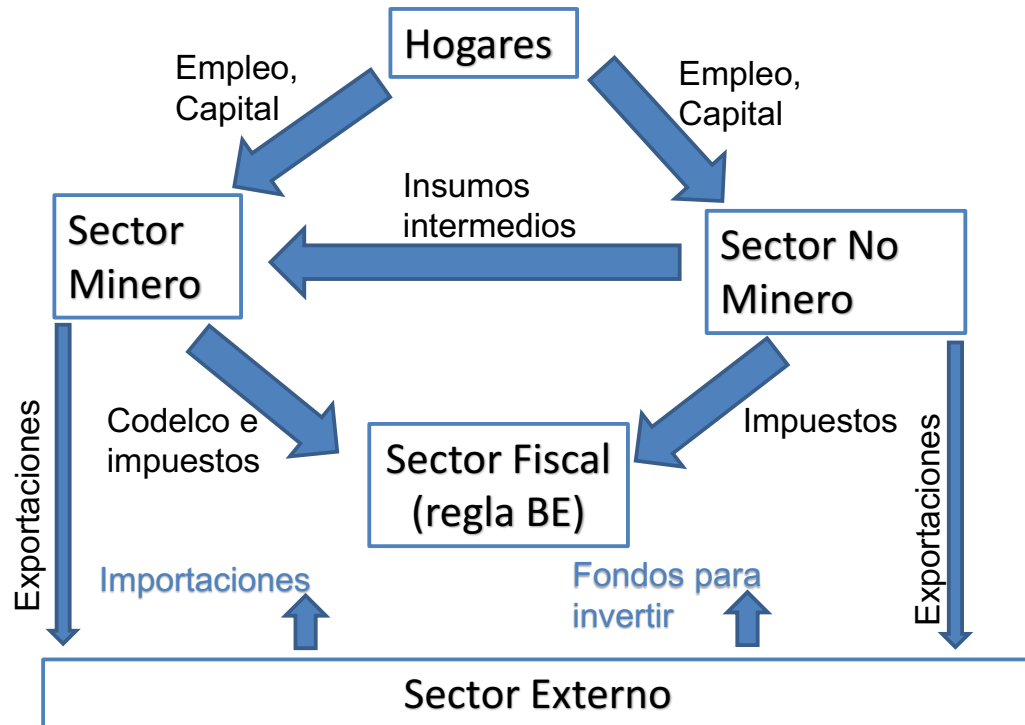
En esta sección utilizamos un modelo estructural para cuantificar las consecuencias macroeconómicas del desarrollo minero en Chile. Nuestro modelo permite caracterizar los efectos directos e indirectos que tiene la producción minera en el resto de la economía. El modelo desarrollado está basado en la literatura de modelos de equilibrio general para economías abiertas, tales como el trabajo de Mendoza (1991), Fernández-Villaverde et al (2011) y extendido a un contexto multisectorial como Mendoza (1995), Schmitt-Grohe y Uribe (2017). Nuestro modelo estructural para Chile es similar al trabajo de Fornero y Kirchner (2014) y Medina y Soto (2016), pero abstrayéndonos del rol de la política monetaria.

Al igual que la mayoría de los estudios analíticos sobre cómo la minería afecta la economía Chilena, nuestro modelo considera que el desarrollo minero impulsa la inversión y los ingresos de la economía. Adicionalmente, el modelo incluye un encadenamiento productivo de la minería con el resto de los sectores productivos. De esta forma, un incremento del sector minero tiene un canal que induce una reasignación de factores hacia este sector desde los otros sectores de la economía, ejerciendo un efecto que tiende a reducir el tamaño de la producción no minera. No obstante, al mismo tiempo, un aumento del sector minero genera mayor ingreso de la economía y dado el encadenamiento productivo, la demanda por bienes no mineros tiende a aumentar. En la medida que la producción interna no minera no es sustituta perfecta de las importaciones, un incremento de la minería puede inducir un canal que implica una mayor producción interna de bienes no mineros. El tamaño relativo de estos dos canales contrapuestos dependerá de las elasticidades de sustitución entre bienes importados y bienes internos no mineros y del tamaño del encadenamiento productivo del sector minero. Si bienes internos no mineros e importaciones son más complementarios, el efecto positivo de un desarrollo minero en la producción no minera será mayor. Del mismo modo, un encadenamiento productivo de la minería mayor también aumentará este efecto

positivo. Es por ello, que nuestro modelo estimará estos parámetros para determinar el tamaño de estos canales a nivel agregado.

El apéndice contiene la derivación formal del modelo y la estrategia empírica para estimar los principales parámetros. Aquí resumimos los principales aspectos de dicho apéndice. Las interacciones económicas de los distintos agentes del modelo pueden describirse esquemáticamente con la figura IV.1. Existen dos sectores productivos en la economía: minería y resto. Los hogares toman las decisiones de consumo y ahorro, donde el ahorro puede ser tanto en bonos externos o capital productivo. Los hogares proporcionan empleo y arriendan el capital a las empresas productivas. Las empresas del sector minero utilizan capital, empleo, recursos minerales e insumos del sector no minero para exportar toda su producción. Las empresas del sector no minero usan capital y empleo para producir, donde parte de su producción es exportada y otra parte consumida internamente. La demanda interna, que es compuesta por consumo, inversión y gasto de gobierno, es una canasta de bienes importados y bienes internos no mineros. La política fiscal busca gastar según una estimación de los ingresos fiscales tendenciales o de largo plazo. Es decir, se asume que la política fiscal sigue la regla del balance estructural (BE). El sector externo provee fondos para el fisco y los hogares y la oferta los bienes importados.

Figura IV.1. Esquema del modelo estructural



Fuente: Elaboración propia.

La estrategia empírica utiliza las mismas variables de la sección previa, con la salvedad de que los ingresos fiscales ahora están expresados como porcentaje del PIB. La metodología empírica es una estimación bayesiana que considera una estimación de los parámetros del modelo que determinan la dinámica de las variables usadas (ver trabajos de Schorfheide (2000) y Fernández-Villaverde y Rubio-Ramírez (2007)). Previo a la estimación de los

parámetros claves, un subconjunto de éstos es calibrado porque establecen sin ambigüedad razones macroeconómicas de la economía Chilena que deben ser respetadas.

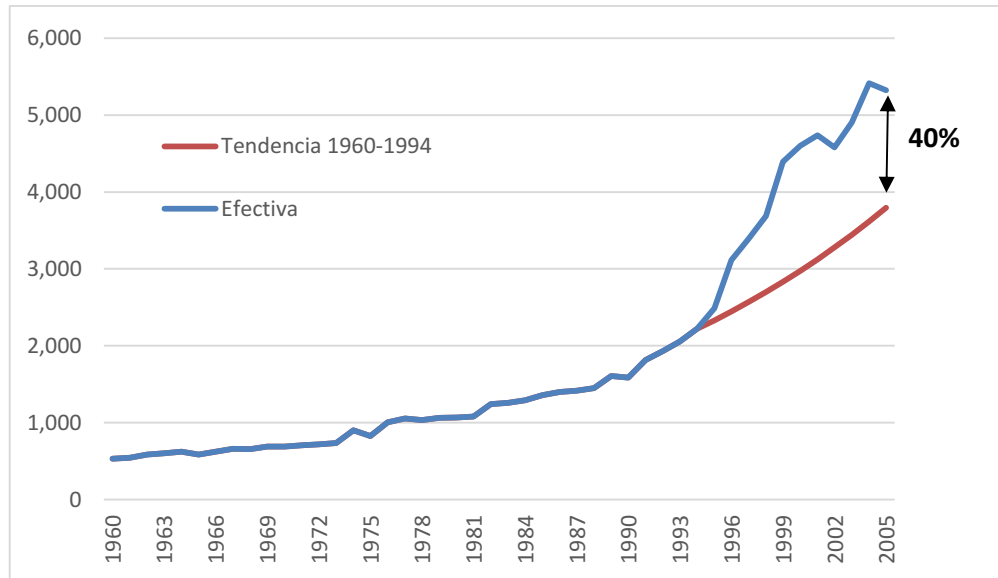
La estimación del encadenamiento productivo sugiere que un 10% de la producción exportada de la minería requiere como insumo bienes del sector no minero. Si bien este valor es menor a lo inferido con la matriz insumo-producto, la tecnología de producción del sector minero manifiesta una complementariedad entre este insumo y el resto de factores productivos de la minería, haciendo que este canal sea económicamente relevante. Más aún, la estimación favorece la inclusión del encadenamiento productivo de la minería en el modelo. Este resultado consiste en comparar el valor de ajuste empírico del modelo con encadenamiento productivo y con el valor de ajuste empírico cuando el modelo asume que este encadenamiento productivo no existe. También es importante destacar que la estimación establece bajos niveles de sustitución entre bienes importados e bienes internos no mineros, de forma tal que mayores ingresos de la economía por un desarrollo minero no redundan necesariamente en una elevada recomposición de la demanda hacia bienes importados en desmedro de los bienes internos no mineros.

Con el modelo estructural estimado proponemos realizar dos ejercicios de cuantificación macroeconómica. En primer lugar, aislamos los factores productivos del sector minero en el período 1996-2005 y cuantificamos su contribución adicional en las variables macroeconómicas en dicho período. En segundo lugar, consideramos escenarios de desarrollo minero para las regiones quinta y metropolitana hacia el 2030 y cuantificamos las consecuencias de esos desarrollos potenciales en la misma lista de variables macroeconómicas.

#### **a. Análisis histórico 1996-2005**

Si uno analiza la producción de cobre desde 1960, uno puede apreciar que desde 1995 está tuvo una expansión mucho mayor a su tendencia histórica previa. Algo similar argumenta Meller (2013). La figura IV.2 ilustra esta situación al mostrar que la producción de cobre en el 2005 fue cerca de 40% mayor a la tendencia histórica que registraba un crecimiento anual promedio de 5%.

Figura IV.2 Producción efectiva y tendencia histórica previa a 1995 (en miles de toneladas).

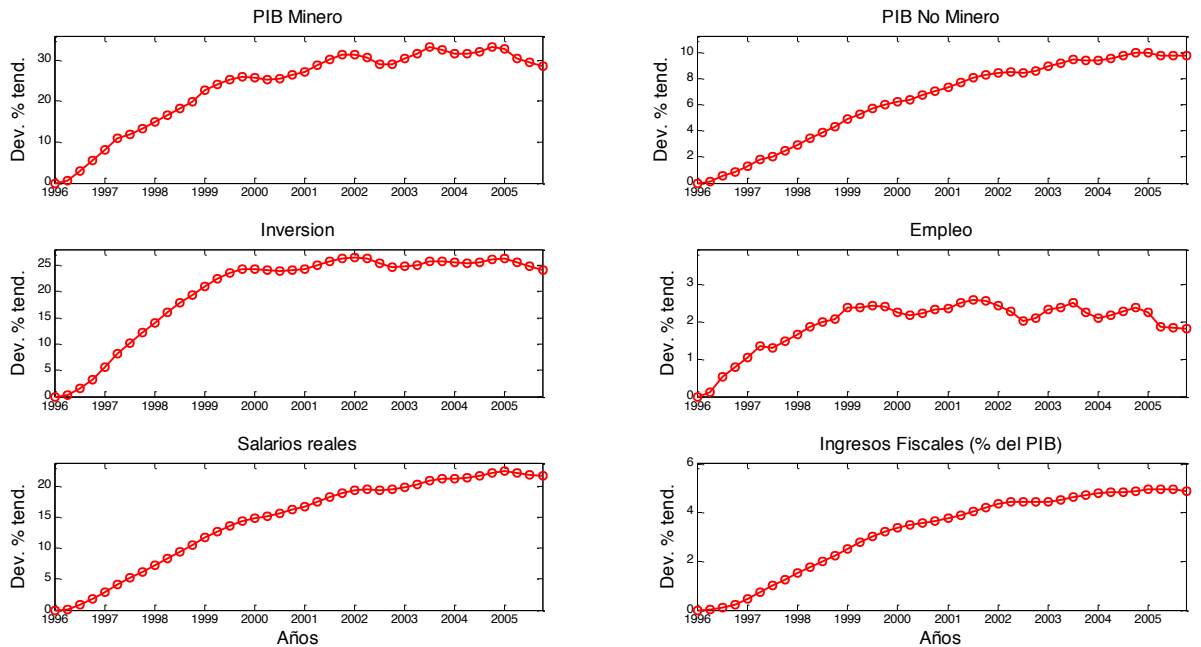


Fuente: Elaboración propia.

Usando la estimación del modelo, podemos inferir como la productividad minera y recursos minerales incidieron en esta expansión de la producción minera por sobre la tendencia histórica en el período 1996-2005.<sup>8</sup> Luego con dicha inferencia computamos cuanta mayor producción minera se explican por estos elementos de mejoras productivas en el sector minero y cuáles son las contribuciones de estos factores en el resto de las variables macroeconómicas en el período 1996-2005. Los resultados de esto se muestran en la figura IV.3.

Figura IV.3. Contribución de factores productivos mineros en variables macroeconómicas (promedios móviles anuales)

<sup>8</sup> Esta metodología de cuantificar con un modelo estructural la contribución de distintos factores en los ciclos económicos ha sido popularizada por Chari et al. (2007).



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que las respuestas del modelo econométrico semi-estructural, la figura muestra cuanto de la dinámica de estas variables podría ser atribuido exclusivamente a las mejoras productivas del sector minero que el modelo infiere que operaron durante el período 1996-2005. Así, la producción minera fue alcanzando un 30% más que su tendencia por las mejoras productivas del sector. Otros factores explicarían de forma adicional lo que sucedió con la producción minera en dicha década. A pesar de que una mejora productiva en el sector minero debiera atraer recursos económicos a dicho sector, la producción no minera se benefició paulatinamente, logrando un nivel de producción en torno a 10% más elevado por los impulsos productivos del sector minero. Esto refleja nuevamente que los efectos ingresos y de encadenamiento productivo estimados más que compensan los efectos de reasignación sectorial, de forma que el PIB no minero mejora claramente. Sumando los efectos del PIB minero y no minero, el modelo estima que cerca de 1,3 puntos porcentuales del crecimiento promedio del PIB de esa década fue la contribución del desarrollo productivo del sector minero. Además, esta contribución en el crecimiento económico no fue centrada sólo en el sector minero sino que también en el sector no minero.

Las mejoras productivas del sector minero impulsaron la inversión. El modelo estructural también implica que un aumento de la producción en el sector no minero debe venir acompañado por un incremento en los factores productivos. Por lo tanto, la inversión y empleo del sector no minero también aumentan. Así, 2,4 puntos porcentuales del crecimiento promedio de la inversión en el período 1996-2005 se explicarían con el desarrollo minero, mientras que 2% del mayor empleo promedio también.

El desarrollo minero de la década 1996-2005 también benefició los ingresos fiscales. La expansión de la producción minera impulsó las contribuciones de Codelco y la base tributaria de los sectores mineros. Al mismo tiempo, la expansión de la producción no minera también mejora la base tributaria sobre estos sectores. Con todo, el modelo estructural estima que

3,5% del PIB de ingresos fiscales promedio por año del período 1996-2005 se atribuiría al desarrollo minero de esos años.

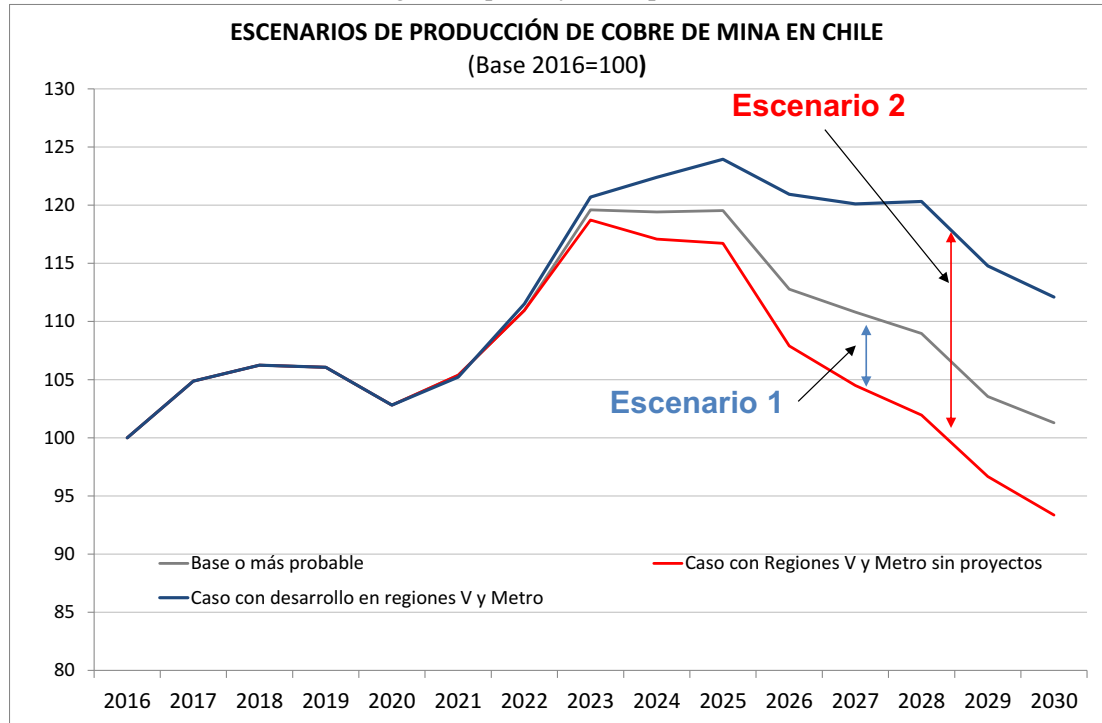
#### **b. Escenarios de desarrollo futuro en las regiones quinta y metropolitana**

De la misma forma que el modelo estructural puede ser usado para cuantificar la contribución histórica del desarrollo minero podemos utilizarlo para computar los efectos de potenciales escenarios de desarrollo minero futuro en las principales variables macroeconómicas. En esta subsección realizamos este tipo de ejercicio con el propósito de cuantificar los efectos macroeconómicos de distintos escenarios de desarrollo minero en la zona central de país, donde se han estimado una significativa magnitud de reservas de Cobre.

Como se mencionó arriba, las regiones quinta y metropolitana tienen estimaciones de recursos que implicarían del orden de 200 millones de toneladas de cobre fino (ver Toro et al, 2012). Basados en esta información y el estado actual de las operaciones de producción minera se proponen escenarios de desarrollo futuro que cuantifican la producción adicional que podría obtenerse de la explotación factible de estos recursos minerales en las regiones quinta y metropolitana. La figura IV.4 presenta escenarios de producción futura a nivel país basados en ciertos de desarrollo minero de las regiones quinta y metropolitana. Es importante mencionar que estos escenarios son hipotéticos y no constituyen proyecciones de producción.

De la figura IV.4 vemos que en el escenario base o más probable (línea gris) la producción de cobre del país pudiera aumentar del orden de 20% a principios de la próxima década, para luego decaer naturalmente hacia los niveles actuales de producción. Este escenario base ya contempla que parte de los recursos minerales son explotados en las regiones quinta y metropolitana. Por ello, si uno considera un escenario donde las regiones quinta y metropolitana no tienen proyectos mineros (línea roja), la producción de cobre del país sería menor y llegaría ser del orden de 8% inferior en comparación al escenario base o más probable hacia el 2030. En contraste, si las regiones quinta y metropolitana pueden desarrollar proyectos mineros, la producción minera se mantendría por más tiempo en un nivel de 20% por sobre los niveles actuales y significaría una producción de 18% mayor a la proyección base o más probable hacia el 2030 (línea azul). Es importante señalar que la mayor producción del escenario con proyectos en la zona central (línea azul) en comparación al escenario sin proyectos (línea roja) en el período 2023-2030 correspondería a una explotación de aproximadamente un 3% de los 200 millones de TM cobre disponible como recursos en la zona central.

Figura IV.4. Escenarios de producción en Chile variando el nivel de desarrollo minero en las regiones quinta y metropolitana.



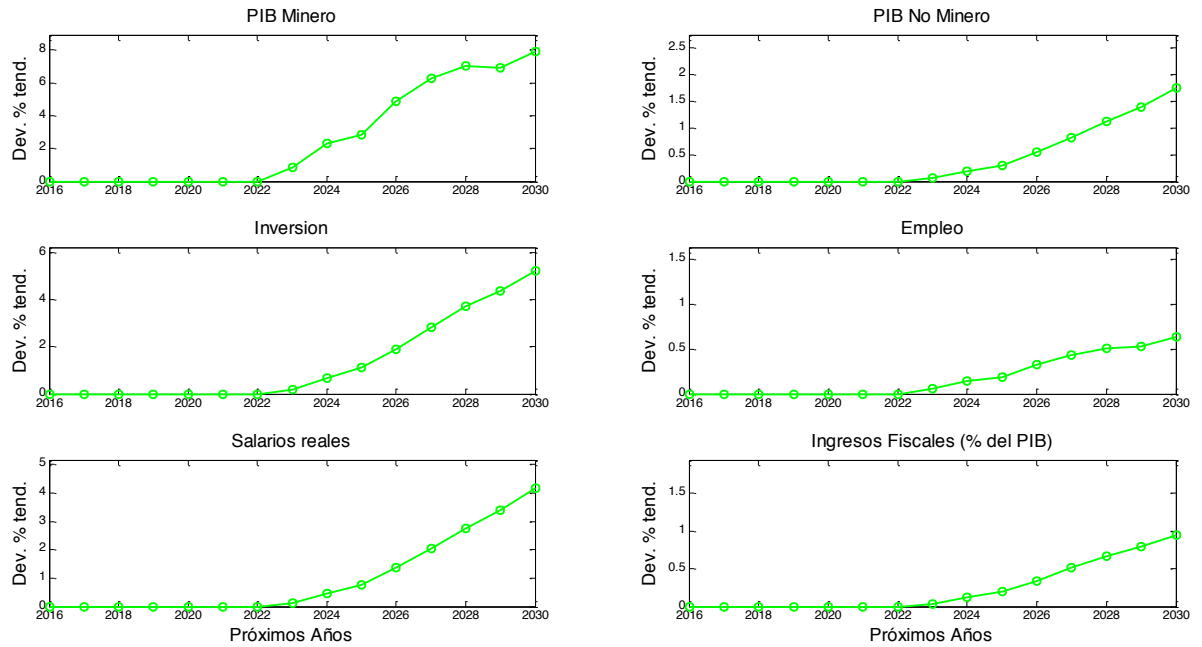
Fuente: Elaboración propia en base a datos de las empresas mineras.

Con estas proyecciones construimos dos escenarios para contabilizar la contribución futura a nivel macroeconómico. Un primer escenario (escenario 1) correspondería a la diferencia entre la producción base o más probable y la producción sin proyectos en las regiones quinta y metropolitana. Un segundo escenario (escenario 2) correspondería a la diferencia entre la producción con desarrollo en las regiones quinta y metropolitana y la producción sin proyectos en las regiones quinta y metropolitana. Es decir, en ambos casos, nos comparamos con el escenario de producción que no contempla nuevos proyectos mineros en las regiones quinta y metropolitana y que implicaría que la producción a nivel país podría decaer a partir de mediados de la próxima década.

La figura IV.5 presenta los resultados que se obtendría de pasar de la producción sin proyectos en las regiones quinta y metropolitana a la producción base o más probable (escenario 1). Como vimos en la figura IV.4, este escenario implica del orden de 8% de mayor producción con respecto a la producción sin proyectos en las regiones quinta y metropolitana. Dado el rol positivo de los efectos ingreso y encadenamiento productivo del sector minero, la producción no minera también aumentaría paulatinamente, llegado a ser 1,5-2% mayor que al caso sin proyectos mineros en las regiones quinta y metropolitana. Esto generaría un crecimiento del PIB promedio anual de 0,5 puntos porcentuales mayor en relación al caso sin proyecto en las Regiones V y Metropolitana durante el período 2023-2030. Al mismo tiempo, se generaría un crecimiento anual de la inversión del orden de 0,5 puntos porcentuales adicionales. Los ingresos fiscales acumularían anualmente un 0,4% del PIB adicional; y finalmente, el empleo crecería anualmente en el orden de 0,1 puntos porcentuales en el mismo período.



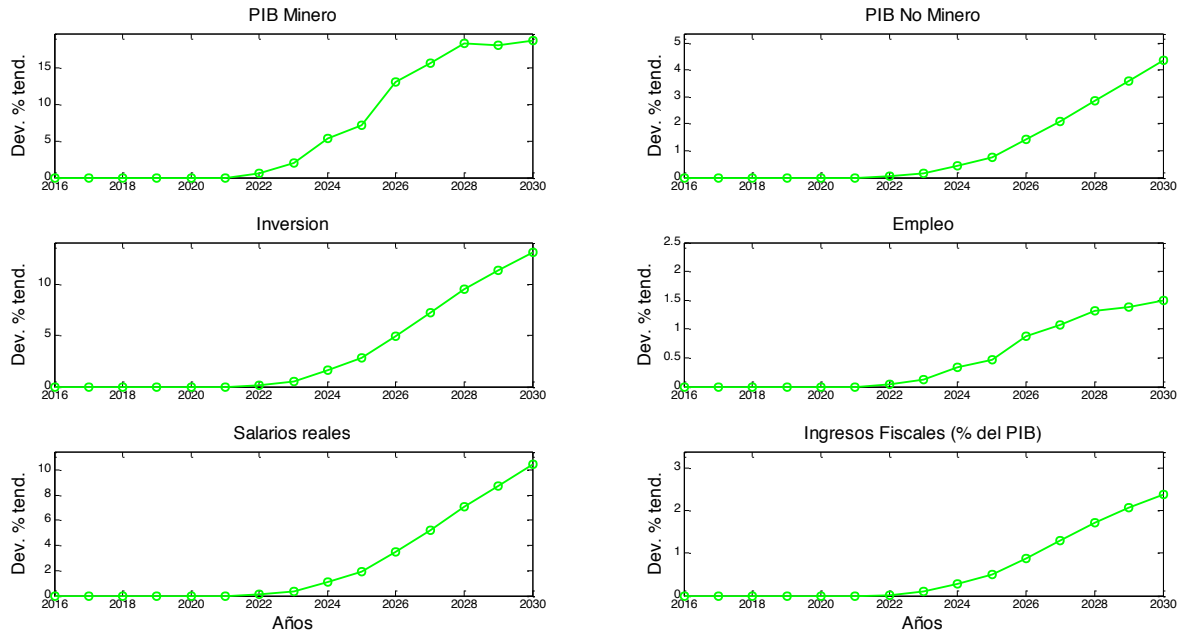
Figura IV.5. Contribución Macroeconómica del Escenario 1  
(Contribución desarrollo minero en variables macroeconómicas, promedios móviles anuales)



Fuente: Elaboración propia.

La misma metodología es aplicada para el escenario 2, cuyos resultados se muestran en la figura IV.6. Como vimos arriba, este escenario país con desarrollo de proyectos mineros en las regiones quinta y metropolitana tiene una producción mucho mayor que el caso sin proyectos en las mismas regiones, llegando a ser un 18% de mayor producción de cobre en el 2030. La contribuciones en este escenario son aproximadamente el doble de lo que se desprende del escenario 1. Considerando que el PIB de Chile es del orden de 240 miles de millones de dólares y acumulando los años más sustantivos de las diferencias entre 2023 y 2030, podemos computar de manera más concretas las contribución macroeconómica de este escenario 2. Se generaría un crecimiento del PIB promedio anual de 0,75 puntos porcentuales mayor en relación al caso sin proyecto en las Regiones V y Metropolitana durante el período 2023-2030. Al mismo tiempo, se generaría un crecimiento anual de la inversión del orden de 1,6 puntos porcentuales adicionales, lo que correspondería un desembolso en proyectos de inversión en torno a 27 miles de millones de dólares acumulados durante 2023-2030. Los ingresos fiscales acumularían un 9,2% del PIB adicional o 22,1 miles de millones de dólares. Puesto de otra manera, en el período 2023-2030 el fisco generaría aproximadamente 1,2% del PIB de mayores ingresos fiscales por año. Finalmente, vemos que a pesar del alza de los salarios, el empleo crecería anualmente del orden de 0,2 puntos porcentuales en el mismo período.

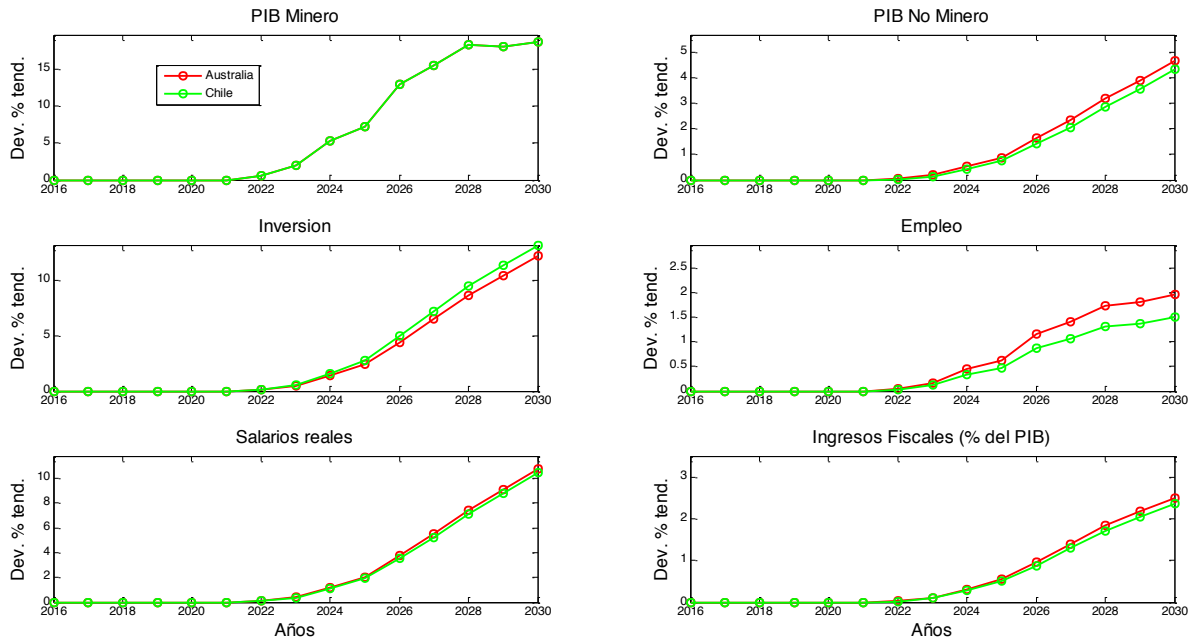
Figura IV.6. Contribución Macroeconómica del Escenario 2  
(Contribución desarrollo minero en variables macroeconómicas, promedios móviles anuales)



Fuente: Elaboración propia.

Como discutimos anteriormente, el encadenamiento productivo de la minería en Chile es menor que en Australia. Por ello, un ejercicio adicional sería volver a computar la contribución macroeconómica del escenario 2, pero considerando el encadenamiento productivo de la minería de Australia en vez del de Chile. Este escenario lo llamamos escenario 3 y consiste asumir que el parámetro del encadenamiento productivo de la minería pasa de ser aproximadamente 10% a 30%, dejando los otros parámetros del modelo constantes. La figura IV.7 presenta los resultados de este ejercicio junto con los resultados del escenario 2. Vemos que algunas diferencias se compensan por el hecho de que la matriz productiva del país se modifica y se requiere más empleo, lo cual redundaría en una mayor participación del empleo en los ingresos de la economía. Nuevamente, acumulando los efectos entre 2023 y 2030 en relación al caso sin proyectos obtenemos un flujo de PIB acumulado entre 2023 y 2030 del orden de 3,9 miles millones adicional al escenario 2. La expansión acumulada de la inversión es menor que el escenario 2, pero con más empleo promedio que el escenario 2. El flujo de mayores ingresos fiscales bordearía agregaría 0,1% del PIB mayores ingresos fiscales promedio por año.

Figura IV.7. Contribución Macroeconómica del Escenario 3: Escenario 2 con Encadenamiento productivo de Australia  
(Contribución desarrollo minero en variables macroeconómicas, promedios móviles anuales)



Fuente: Elaboración propia.

## V. Comentarios finales

En este trabajo revisitamos el análisis de las interacciones del sector minero con el resto de las variables macroeconómicas usando tres enfoques complementarios. En primer lugar, presentamos las estadísticas agregadas del sector minero para ilustrar cuán importante es este sector en las principales variables macroeconómicas de Chile. En segundo lugar, por medio de una evidencia econométrica semi-estructural, estimamos la incidencia de cambios en el precio del cobre y la producción minera en las principales variables macroeconómicas de Chile. En tercer lugar, desarrollamos un modelo macroeconómico multisectorial que permite analizar los efectos del sector minero en el resto de las variables macroeconómicas.

Los datos macroeconómicos ilustran que la minería del cobre en Chile ha sido determinante en variables macroeconómicas, tales como el PIB no minero, la inversión, empleo, los salarios y los ingresos fiscales. Muchos estudios han analizado y discutido como el desarrollo minero ha fomentado ciclos económicos favorables y crecimiento económico en Chile.

Las estimaciones econométricas semi-estructurales demuestran que cambios en el precio del cobre y la producción minera afectan de manera sustantiva las variables macroeconómicas. En particular, aumentos en el precio del cobre y la producción minera inducen un aumento de la producción no minera. Esto sugiere que la maldición de los recursos naturales no se ha manifestado a nivel agregado en el caso de Chile y otros canales deben haber operado para compensar la potencial reasignación sectorial que resultaría de un desarrollo minero. Además, esta evidencia implicaría que no sólo canal ingreso e inversión son importantes para explicar

los efectos de la minería en las variables macroeconómicas, sino que existe un rol favorable del encadenamiento productivo de la minería con el resto de los sectores productivos.

El modelo macroeconómico estructural desarrollado permite capturar la importancia de la minería en las variables macroeconómicas según las estadísticas de cuentas nacionales y basada en los diferentes canales de transmisión que contemplan efectos precio y cantidad. Este modelo estima una contribución sustantiva de los factores productivos de la minería entre 1996-2005 en el resto de las variables macroeconómicas.

Al analizar el potencial de desarrollo productivo minero en las regiones quinta y metropolitana, vemos que podría proporcionar beneficios macroeconómicos. Un escenario de desarrollo minero en las regiones quinta y metropolitana en comparación al caso sin proyectos en las mismas regiones entregaría mejoras simultáneas en crecimiento económico, inversión, ingresos fiscales y empleo. Puesto de otra manera, un escenario sin proyectos mineros en las regiones quinta y metropolitana, podría reducir significativamente la capacidad productiva, la inversión y los ingresos fiscales de la economía. Un escenario de desarrollo con un encadenamiento productivo de la minería de Australia, los efectos en PIB, ingresos fiscales y empleo serían un poco mayores, mientras que el aumento de la inversión sería un poco menor.

Finalmente, es importante notar que el presente análisis omite los efectos económicos de potenciales externalidades del sector minero, tanto en dimensiones medioambientales como en la sustentabilidad del uso de los recursos naturales. Por ejemplo, Figueroa y Calfucura (2003) estiman que el PIB minero de Chile en el período 1986-1996 se reduce en cerca de 18% si se contempla los costos de la depreciación del recurso natural no renovable y los efectos de la contaminación del aire asociados con la producción minera. Esto pone de manifiesto la importancia de que el desarrollo minero se lleve a cabo promoviendo la agregación de valor económico en otros sectores productivos de la economía (e.g. encadenamiento productivo) y velando porque el uso de los recursos naturales se lleve a cabo de manera sustentable a largo plazo.

## VI. Apéndice Técnico: Derivación del Modelo Macroeconómico

En este apéndice presentamos la derivación del modelo macroeconómico estructural que utilizamos para cuantificar la contribución del desarrollo minero tanto históricamente como en los escenarios de futuros. La estructura del modelo es similar a la propuesta en Mendoza (1995), Fernández-Villaverde et al (2011) para economías pequeñas y abiertas. Dado las particularidades de Chile, desarrollamos un modelo multisectorial, donde el sector minero (cobre) tiene una importancia significativa en la economía al igual como lo contemplado por Fornero y Kirchner (2014) y Medina y Soto (2016). A continuación presentamos en mayor detalle los diferentes agentes que conforman el modelo macroeconómico.

### a. Hogares

La economía está habitada por un hogar representativo con preferencias a lo largo del tiempo dadas por la siguiente expresión:

$$\mathbb{E} \left[ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(C_t, H_t^C, H_t^M, \zeta_{H,t}) \right],$$

donde  $U(\cdot)$  es la función de utilidad que depende las variables del hogar en el período  $t$  y  $\beta$  es el factor de descuento.  $C_t$  es el consumo,  $H_t^C$  es el trabajo ofertado para el sector cobre,  $H_t^M$  es el trabajo ofertado en el sector no cobre y  $\zeta_{H,t}$  es una perturbación a la oferta de trabajo. La presencia de  $\mathbb{E}[\cdot]$  y la sumatoria denotan que las preferencias del hogar valoran la expectativa del valor presente descontado de la utilidad en cada período.

La restricción presupuestaria del hogar representativo en cada período es la siguiente

$$\frac{B_{t+1}^*}{1+r_t} = \left( \begin{aligned} & B_t^* - W_t(H_t^C + H_t^M) - R_t^C u_{C,t} K_{t-1}^C - R_t^M u_{M,t} K_{t-1}^M - \Pi_t + T_t \\ & + P_t(C_t + I_t^C + I_t^M + \Psi_C(u_{C,t})K_{t-1}^C + \Psi_M(u_{M,t})K_{t-1}^M) + \frac{\Phi_{B^*}}{2}(B_{t+1}^* - B^*)^2 \end{aligned} \right)$$

donde  $B_t^*$  es la deuda externa neta de los hogares,  $r_t$  es la tasa de interés externa efectiva,  $W_t$  es el salario (en términos de la canasta de bienes externos),  $K_{t-1}^C$  es el stock de capital del sector cobre (disponible al comienzo del período),  $K_{t-1}^M$  es el stock de capital del sector no cobre (disponible al comienzo del período),  $u_{C,t}$  es la tasa de utilización del capital en el sector cobre,  $u_{M,t}$  es la tasa de utilización del capital en el sector no cobre,  $R_t^C$  es el precio de arriendo del capital del sector cobre,  $R_t^M$  es el precio de arriendo del capital en el sector no cobre,  $I_t^C$  es la inversión en el capital del sector cobre,  $I_t^M$  es la inversión en el sector no cobre,  $P_t$  es el nivel de precios de los bienes finales,  $\Pi_t$  son las utilidades de las empresas y  $T_t$  son los impuestos, que por simplicidad asumiremos que no son distorsionantes. Para tener una dinámica de economía pequeña y abierta estacionaria es necesario incluir un costo de ajuste para la deuda externa (ver Uribe y Schmitt-Grohé, 2003).

Es importante notar que el capital es específico a cada sector, lo que implica que el precio del arriendo del capital es diferente en cada sector. También hay que resaltar que la utilización del capital tiene un costo en términos de gasto en bienes finales. Con ello, la demanda interna privada total es

$$D_t^p = C_t + I_t^C + I_t^M + \Psi_C(u_{C,t})K_{t-1}^C + \Psi_M(u_{M,t})K_{t-1}^M$$

El stock de capital en cada sector evoluciona de la siguiente forma

$$K_t^C = (1 - \delta)K_{t-1}^C + S(I_t^C, I_{t-1}^C)I_t^C$$

$$K_t^M = (1 - \delta)K_{t-1}^M + S(I_t^M, I_{t-1}^M)I_t^M$$

donde  $\delta$  es la tasa de depreciación del capital, la cual asumimos que es la misma en ambos sectores. También contemplamos costos de ajuste de la inversión de forma que una unidad invertida genera  $S(I_t^j, I_{t-1}^j)$  unidades de capital en el sector  $j = C, M$ . La presencia de un rezago en esta función de costos captura inercia en las decisiones de inversión y es una aproximación del fenómeno llamado en inglés *time to build*.

El hogar representativo maximiza su utilidad intertemporal sujeto a la restricción presupuestaria y a las ecuaciones de acumulación del capital. Las condiciones de optimalidad son las siguientes:

$$U_1(C_t, H_t^C, H_t^M, \zeta_{H,t}) = \lambda_t P_t$$

$$\frac{\lambda_t}{1 + r_t} = \lambda_t \Phi_{B^*}(B_{t+1}^* - B^*) + \beta \mathbb{E}_t[\lambda_{t+1}]$$

$$q_t^C = \beta \mathbb{E}_t[\lambda_{t+1}(R_{t+1}^C u_{C,t+1} - P_t \Psi_C(u_{C,t+1})) + q_{t+1}^C(1 - \delta)]$$

$$q_t^M = \beta \mathbb{E}_t[\lambda_{t+1}(R_{t+1}^M u_{M,t+1} - P_t \Psi_M(u_{M,t+1})) + q_{t+1}^M(1 - \delta)]$$

$$\lambda_t P_t = q_t^C [S(I_t^C, I_{t-1}^C) + S_1(I_t^C, I_{t-1}^C)I_t^C] + \beta \mathbb{E}_t[q_{t+1}^C S_2(I_{t+1}^C, I_t^C)I_{t+1}^C]$$

$$\lambda_t P_t = q_t^M [S(I_t^M, I_{t-1}^M) + S_1(I_t^M, I_{t-1}^M)I_t^M] + \beta \mathbb{E}_t[q_{t+1}^M S_2(I_{t+1}^M, I_t^M)I_{t+1}^M]$$

$$R_t^C = \Psi'_C(u_{C,t})$$

$$R_t^M = \Psi'_M(u_{M,t})$$

En las expresiones de arriba  $U_k(\cdot)$  y  $S_l(\cdot)$  denotan, respectivamente, las derivadas de la función de utilidad y costos de ajuste del capital con respecto a sus argumentos  $k$  y  $l$ , mientras que  $\Psi'_j(\cdot)$  es la derivada de la función de costos de utilización del capital en el sector  $j = C, M$ .  $\lambda_t$  es la utilidad marginal de ingreso expresada en términos de la canasta de bienes externos y  $q_t^j$  es el beneficio marginal y descontado de una unidad de tener una unidad de capital en el sector  $j = C, M$ .

Para replicar mejor el comportamiento de los salarios y el empleo, consideramos que los salarios reales son rígidos en el corto plazo. Así, las condiciones de óptimas del hogar representativo con respecto al empleo en ambos sectores determina el salario flexible ( $\tilde{W}_t$ ):

$$U_2(C_t, H_t^C, H_t^M, \zeta_{H,t}) = \lambda_t \tilde{W}_t$$

$$U_3(C_t, H_t^C, H_t^M, \zeta_{H,t}) = \lambda_t \tilde{W}_t$$

Sin embargo, de manera similar a Blanchard y Galí (2010), Gertler and Trigari (2008), Gertler et al (2009), Shimer (2012) y Hall (2005), el salario real de equilibrio es rígido, ajustándose de manera paulatina al salario flexible:

$$\frac{W_t}{P_t} = \left( \frac{W_{t-1}}{P_{t-1}} \right)^{\varphi_w} \left( \frac{\tilde{W}_t}{P_t} \right)^{1-\varphi_w}$$

## b. Empresas

En la economía hay tres tipos de empresas. Un primer tipo combina bienes internos no cobre y bienes importados elaborando un bien final. Un segundo tipo de empresas produce cobre y un tercer tipo produce bienes internos no cobre. Describiremos a continuación las tecnologías y decisiones de cada uno de estos tipos de empresas.

### *Empresas del sector de bienes finales*

Estas empresas elaboran  $D_t$  unidades de bienes finales combinando  $D_t^M$  unidades de bienes no cobre y  $D_t^F$  unidades de bienes importados con la siguiente tecnología de producción con retornos constantes de escala:

$$D_t = F(D_t^M, D_t^F)$$

Considerando que el precio de los bienes internos no cobre es  $P_t^M$  y que de los bienes importados es  $P_t^F$  (ambos expresados relativos a la canasta de bienes externos), las ganancias de las empresas de bienes finales es:

$$P_t F(D_t^M, D_t^F) - P_t^M D_t^M - P_t^F D_t^F$$

La combinación óptima de bienes internos no cobre y bienes importados debe satisfacer las siguientes condiciones:

$$P_t F_1(D_t^M, D_t^F) = P_t^M$$

$$P_t F_2(D_t^M, D_t^F) = P_t^F$$

donde  $F_k(\cdot)$  denota la deriva de  $F(\cdot)$  con respecto a su argumento  $k$ . Combinando las dos últimas expresiones podemos obtener una ecuación para la demanda relativa de bienes internos no cobre e importados:

$$\frac{F_1\left(\frac{D_t^M}{D_t^F}, 1\right)}{F_2\left(\frac{D_t^M}{D_t^F}, 1\right)} = \frac{P_t^M}{P_t^F}$$

### ***Empresas del sector cobre***

La producción de  $V_t^C$  unidades exportadas de cobre utiliza la siguiente tecnología:

$$V_t^C = A_t^C G^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C)$$

donde  $A_t^C$  es la productividad del sector cobre,  $F_t^C$  es la cantidad de recursos minerales usados en la producción, y  $E_t^C$  es la cantidad de bienes no cobre usados como insumo intermedio en la producción. Asumiremos que los recursos minerales usado en la producción de cobre,  $F_t^C$ , están fijado exógenamente y siguen un proceso estocástico al igual que la productividad del sector,  $A_t^C$ . Por otra parte, dado que el sector cobre usa insumos intermedios del sector no cobre, el valor agregado del sector cobre,  $P_t^C Y_t^C$ , es el valor de la producción menos el valor de los insumos intermedios:

$$P_t^C Y_t^C = P_t^C V_t^C - P_t^M E_t^C$$

donde  $P_t^C$  es el precio del cobre exportado en términos de la canasta de bienes externos, el cual asumiremos que sigue un proceso estocástico exógeno. Las ganancias de las empresas del sector cobre pueden escribirse como:

$$\Pi_t^C = P_t^C A_t^C G^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C) - R_t^C u_{C,t} K_{t-1}^C - W_t H_t^C - P_t^M E_t^C$$

y, con ello, la combinación óptima de factores productivos y el insumo intermedio satisfacen:

$$P_t^C A_t^C G_1^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C) = R_t^C$$

$$P_t^C A_t^C G_2^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C) = W_t$$

$$P_t^C A_t^C G_4^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C) = P_t^M$$

donde  $G_k^C(\cdot)$  es la derivada de la función  $G^C(\cdot)$  con respecto a su argumento  $k$ . Asumiremos que la función  $G^C(\cdot)$  es homogénea de grado 1. Sin embargo, a pesar de esto las empresas del sector cobre tendrán utilidades por la presencia del factor exógeno,  $F_t^C$ .

### ***Empresas del sector no cobre***

Para la producción de  $Y_t^M$  unidades de bienes no cobre, las empresas en este sector usan  $u_{M,t} K_{t-1}^M$  unidades de capital ajustado por su tasa de utilización y  $H_t^M$  unidades de trabajo con la siguiente función de producción:

$$Y_t^M = A_t^M G^M(u_{M,t} K_{t-1}^M, H_t^M)$$

donde  $A_t^M$  es la productividad del sector no cobre. Las utilidades de las empresas en este sector están dadas por:

$$P_t^M A_t^M G^M(u_{M,t} K_{t-1}^M, H_t^M) - R_t^M u_{M,t} K_{t-1}^M - W_t H_t^M$$

Así, la demanda por capital y trabajo de este sector satisfacen las siguientes condiciones:



$$P_t^M A_t^M G_1^M(u_{M,t} K_{t-1}^M, H_t^M) = R_t^M$$

$$P_t^M A_t^M G_2^M(u_{M,t} K_{t-1}^M, H_t^M) = W_t$$

donde  $G_k^M(\cdot)$  es la derivada de la función  $G^M(\cdot)$  con respecto a su argumento  $k$ . Consideraremos que la función  $G^M(\cdot)$  es homogénea de grado 1 y, por lo tanto, las utilidades de estas empresas serán cero en equilibrio.

### c. Sector fiscal

Asumimos que los impuestos cargados a los hogares son una suma de impuestos proporcionales al valor agregado del sector cobre y no cobre de la economía:

$$T_t = (\tau^C P_t^C Y_t^C + \tau^M P_t^M Y_t^M) \exp(rev_t)$$

donde  $\tau^C$  y  $\tau^M$  son las tasas de recaudación fiscal en el sector cobre y no cobre, respectivamente, y es una perturbación exógena de los ingresos fiscales.

Consideramos que el consumo de gobierno,  $G_t$ , es en bienes finales. Con ello, la restricción presupuestaria del gobierno está dada por:

$$P_t G_t + (1 + r_{t-1}) B_{t-1}^G = \tau^C P_t^C Y_t^C + \tau^M P_t^M Y_t^M + B_t^G$$

donde  $B_{t-1}^G$  es la deuda neta del gobierno del período  $t - 1$ . El gasto de gobierno se encuentra determinado por la regla del balance estructural, la cual establece que el valor de gasto de gobierno sea consistente con el valor de largo plazo de las variables estructurales que condicionan la capacidad productiva de la economía. Por simplicidad, asumiremos que el ajuste estructural de la regla contempla el precio de largo plazo de la producción de bienes del sector y no cobre:

$$P_t G_t = \tau^C P^C Y_t^C + \tau^M P^M Y_t^M - \phi_G B_{t-1}^G$$

En la ecuación de arriba,  $P^C$  y  $P^M$  son los precios de largo plazo de la producción de cobre y no cobre, respectivamente. La regla incluye un coeficiente pequeño, pero mayor que cero de reacción al nivel de endeudamiento del gobierno,  $\phi_G > 0$ . Esto es necesario para garantizar una trayectoria estable de la deuda del gobierno en equilibrio. Estimaciones de este tipo de coeficiente para economías emergentes se encuentran en D'Erasmus et al (2015).

### d. Equilibrio agregado

Es necesario explicitar el equilibrio en el mercado de bienes finales y en el sector no cobre. La condición de equilibrio en el mercado de bienes finales es:

$$D_t^P + G_t = C_t + I_t^C + I_t^M + \Psi_C(u_{C,t}) K_{t-1}^C + \Psi_M(u_{M,t}) K_{t-1}^M + G_t = F(D_t^M, D_t^F)$$

La condición de equilibrio del sector no cobre es:

$$D_t^M + E_t^C + X_t^M = Y_t^M$$

donde  $X_t^M$  son las exportaciones no cobre, las cuales tienen una demanda dada por:

$$X_t^M = \alpha^* \left( \frac{P_t^M}{P_t^F} \right)^{-\eta^*} Y_t^*$$

donde  $Y_t^*$  es el PIB externo y  $\eta^*$  es la elasticidad de sustitución entre bienes internos no cobre y los bienes importados en la demanda externa.

Asumimos que la demanda externa por bienes del sector cobre es infinitamente elástica al precio externo,  $P_t^C$ . Finalmente, las exportaciones netas están dadas por:

$$NX_t = P_t^C V_t^C + P_t^M X_t^M - P_t^F D_t^F$$

y, por lo tanto, la identidad de la balanza de pagos de las economía es:

$$NX_t = P_t^C V_t^C + P_t^M X_t^M - P_t^F D_t^F = B_t^* - \frac{B_{t+1}^*}{1 + r_t} + \frac{\Phi_{B^*}}{2} (B_{t+1}^* - B^*)^2$$

Finalmente, es conveniente definir el PIB nominal total de la economía como:

$$PIB_t^n = P_t^C Y_t^C + P_t^M Y_t^M$$

y el PIB real como:

$$PIB_t^r = \bar{P}^C Y_t^C + \bar{P}^M Y_t^M,$$

donde  $\bar{P}^C$  y  $\bar{P}^M$  son los precios de largo plazo del cobre y los bienes no cobre.

### e. Formas funcionales y procesos exógenos

En esta subsección definimos la forma función de las preferencias de los hogares y las tecnologías de los distintos sectores productivos. Nuestras elecciones están basadas en la literatura especializada como Adolfoson et al (2007), Altig et al (2011) y Fernández-Villaverde et al (2011).

La función de utilidad es separable entre consumo y trabajo:

$$U(C_t, H_t^C, H_t^M, \zeta_{H,t}) = \frac{(C_t)^{1-\nu} - 1}{1-\nu} - \omega \exp(\zeta_{H,t}) \frac{(H_t^C + H_t^M)^{1+\eta}}{1+\eta}$$

De esta forma,  $\nu$  es el coeficiente relativo de aversión al riesgo y  $\eta$  es el inverso de la elasticidad de la oferta de trabajo. En esta especificación consideramos que el trabajo en ambo sectores son sustitutos perfectos desde el punto de vista de la oferta de trabajo. Las perturbaciones de la oferta de trabajo siguen un proceso autorregresivo de primer orden:

$$\zeta_{H,t} = \rho_H \zeta_{H,t-1} + \sigma_H \varepsilon_{H,t}$$

donde  $\varepsilon_{H,t}$  es una variable aleatoria normal estándar idéntica e independiente en el tiempo. Con ello,  $\rho_H$  mide la persistencia de las perturbaciones a la oferta de trabajo y  $\sigma_H$  el tamaño de estas perturbaciones.

La función costos de ajuste del capital tiene la siguiente forma (ver Altig et al, 2011):

$$S(x_t, x_{t-1}) = 1 - \frac{\phi}{2} \left( \frac{x_t}{x_{t-1}} - 1 \right)^2,$$

Así,  $\phi > 0$  mide la curvatura de esta función costos de ajuste y, por lo tanto, el grado de inercia de las decisiones de inversión.

Al igual que Altig et al (2011), la función de costos de utilización del capital viene dada por:

$$\Psi_j(u_{j,t}) = \gamma_0(u_{j,t} - 1) + \frac{\gamma_1}{2}(u_{j,t} - 1)^2$$

En este caso, hemos asumido la misma forma funcional en ambos sectores. En estado estacionario, cuando  $u_{j,t} = 1$ , el nivel y la primera derivada de los costos de utilización del capital son cero.

La tecnología de los bienes finales es:

$$F(D_t^M, D_t^F) = [(\alpha_D)^{1/\eta_D} (D_t^M)^{1-1/\eta_D} + (1 - \alpha_D)^{1/\eta_D} (D_t^F)^{1-1/\eta_D}]^{\frac{\eta_D}{\eta_D-1}}$$

donde  $\eta_D$  es la elasticidad de sustitución entre bienes no cobre e importados y  $\alpha_D$  es la participación de los bienes no cobre en elaboración de bienes finales.

La tecnología de producción de los bienes del sector cobre también considera una función con elasticidad de sustitución constante:

$$G^C(u_{C,t} K_{t-1}^C, H_t^C, F_t^C, E_t^C) = \left[ \begin{array}{l} ((1 - \omega_C) \alpha_C)^{1/\theta_C} (u_{C,t} K_{t-1}^C)^{1-1/\theta_C} \\ + ((1 - \omega_C) (1 - \alpha_C - \gamma_C))^{1/\theta_C} (H_t^C)^{1-1/\theta_C} \\ + ((1 - \omega_C) \gamma_C)^{1/\theta_C} (F_t^C)^{1-1/\theta_C} + (\omega_C)^{1/\theta_C} (E_t^C)^{1-1/\theta_C} \end{array} \right]^{\frac{\theta_C}{\theta_C-1}}$$

En esta especificación,  $\theta_C$  es la elasticidad de sustitución entre los distintos insumos productivos. La participación de los distintos insumos en la producción bruta de cobre es la siguiente:  $(1 - \omega_C) \alpha_C$  es la participación del capital;  $(1 - \omega_C) (1 - \alpha_C - \gamma_C)$  es la participación del trabajo;  $(1 - \omega_C) \gamma_C$  es la participación de los recursos minerales disponibles; y  $\omega_C$  es la participación de insumos no cobre.

La función de producción del sector no cobre está dada por:

$$G^M(u_{M,t}K_{t-1}^M, H_t^M) = (u_{M,t}K_{t-1}^M)^{\alpha_M} (u_{M,t}K_{t-1}^M)^{1-\alpha_M}$$

donde  $\alpha_M$  y  $1 - \alpha_M$  son la participación del capital y trabajo en la producción no cobre.

La productividad del sector  $j = C, M$  está definida de la siguiente forma:  $A_t^j = \bar{A}^j(1 + a_t^j)$ , donde  $a_t^j$  es el valor de estado estacionario de la productividad en el sector  $j$ .  $a_t^j$  evoluciona exógenamente según un proceso autorregresivo de primer orden:

$$a_t^j = \rho_{aj}a_{t-1}^j + \sigma_{aj}\varepsilon_{aj,t}$$

donde  $\varepsilon_{aj,t}$  es una variable aleatoria normal estándar distribuida en el tiempo de manera idéntica e independiente. La persistencia y tamaño de las fluctuaciones de productividad en el sector  $j$  están determinadas por  $\rho_{aj}$  y  $\sigma_{aj}$ .

De manera similar, los recursos minerales del sector cobre siguen un proceso autorregresivo de orden 1:

$$\ln(F_t^C) = (1 - \rho_{FC})\ln(\bar{F}^C) + \rho_{FC}\ln(F_{t-1}^C) + \sigma_{FC}\varepsilon_{FC,t}$$

donde  $\varepsilon_{FC,t}$  es una variable aleatoria normal estándar que es independiente e idénticamente distribuida a través del tiempo.  $\bar{F}^C$  es la media incondicional de los recursos minerales,  $\rho_{FC}$  es la persistencia de las fluctuaciones en los recursos minerales y  $\sigma_{FC}$  es el tamaño de estas fluctuaciones.

Las perturbaciones a los ingresos fiscales también siguen un proceso autorregresivo:

$$rev_t = \rho_{rev}rev_{t-1} + \sigma_{rev}\varepsilon_{rev,t}$$

donde  $\varepsilon_{rev,t}$  es una variable aleatoria normal estándar que es distribuida de manera idéntica e independiente a lo largo del tiempo. Como en los casos anteriores,  $\rho_{rev}$  captura la persistencia de las perturbaciones a los ingresos fiscales y  $\sigma_{rev}$  el tamaño de estas perturbaciones.

El precio del cobre relativo a la canasta de bienes externos evoluciona exógenamente. Para especificar aquello, definimos  $P_t^C = \bar{P}^C(1 + p_t^C)$  y asumimos que sigue un proceso autorregresivo:

$$p_t^C = \rho_{p^C}p_{t-1}^C + \sigma_{p^C}\varepsilon_{p^C,t}$$

donde  $\varepsilon_{p^C,t}$  es una variable aleatoria normal estándar idéntica e independiente a lo largo del tiempo.  $\rho_{p^C}$  mide el grado de persistencia de las perturbaciones en el precio del cobre y  $\sigma_{p^C}$  el tamaño de estas perturbaciones. Es importante notar que  $\bar{P}^C$  es la media incondicional del precio del cobre.

De manera equivalente, definimos el precio de los bienes importados relativos a la canasta externa:  $P_t^F = \bar{P}^F(1 + p_t^F)$ . Con ello, suponemos que sigue un proceso autorregresivo de primer orden:

$$p_t^F = \rho_{p^F}p_{t-1}^F + \sigma_{p^F}\varepsilon_{p^F,t}$$

donde  $\varepsilon_{p^F,t}$  es una variable aleatoria normal estándar idéntica e independiente a lo largo del tiempo.  $\rho_{p^F}$  mide el grado de persistencia de las perturbaciones en el precio del cobre y  $\sigma_{p^F}$  el tamaño de estas perturbaciones. Así,  $\bar{P}^F$  es la media incondicional del precio de los bienes importados.

La tasa de interés externa y el PIB externo también siguen procesos estocásticos:

$$r_t = (1 - \rho_r)\bar{r} + \rho_r r_{t-1} + \sigma_r \varepsilon_{r,t}$$

$$\ln(Y_t^*) = (1 - \rho_{y^*})\ln(\bar{Y}^*) + \rho_{y^*}\ln(Y_{t-1}^*) + \sigma_{y^*}\varepsilon_{y^*,t}$$

donde  $\varepsilon_{r,t}$  y  $\varepsilon_{y^*,t}$  son variables aleatoria normales estándar distribuidas de manera idéntica e independiente a lo largo del tiempo. Con estas especificaciones, las medias incondicionales de la tasa de interés externa y el PIB externo son  $\bar{r}$  y  $\bar{Y}^*$ . Las persistencias de estas variables externas están determinadas por  $\rho_r$  y  $\rho_{y^*}$ , y el tamaño de las perturbaciones a estas variables son  $\sigma_r$  y  $\sigma_{y^*}$ .

## f. Estrategia empírica

En esta subsección se presenta el proceso de estimación utilizado para el modelo macroeconómico descrito, el cual está basado en métodos bayesianos. En primer lugar, se discuten los parámetros que son calibrados, para luego describir brevemente la metodología de estimación del resto de los coeficientes del modelo. Posteriormente se describen las variables usadas en la estimación. Finalmente, se muestran los resultados de la estimación del modelo macroeconómico.

### *Parámetros calibrados*

Un primer paso para la estimación consiste en calibrar un conjunto de parámetros que se mantendrán inalterados en la estimación. La mayoría de estos parámetros se relacionan con los valores de estado estacionario de las variables en el modelo y, por lo tanto, son calibrados de manera de ajustarse a las estadísticas de cuentas nacionales de Chile. Estos parámetros se encuentran en la tabla VI.1.

Tabla VI.1. Parámetros calibrados

Parámetro	Explicación	Valor
$\bar{P}^C \bar{Y}^C / \bar{PIB}^n$	Razón PIB minero-PIB total	0.125
$B^*$	Bonos externos netos de largo plazo	0.000
$\bar{B}^G$	Deuda neta del gobierno en el largo plazo	0.000
$\beta$	Factor de descuento de los hogares	0.96
$\Phi_{B^*}$	Parámetro de costo de ajuste de los bonos externos	0.001
$\tau^C$	Tasa de impuesto promedio sector cobre	0.23
$\tau^M$	Tasa de impuesto promedio sector cobre	0.23
$\nu$	Coefficiente relativo de aversión al riesgo	1.00
$\delta$	Tasa de depreciación del capital	0.062
$\alpha_D$	Participación de bienes internos no cobre en la canasta de bienes finales	0.65
$\alpha_M$	Participación del capital en la producción de bienes no cobre	0.40
$\alpha_C$	Participación del capital en el valor agregado de la producción de cobre	0.70

$\gamma_C$	Participación de los recursos minerales en el agregado de la producción de cobre	0.20
------------	--	------

Consideramos que la participación del sector en el PIB total es 12,5%, un valor similar al promedio de esta razón en los últimos 15 años. Asumimos que las exportaciones netas son cero en el largo plazo, de forma tal que los bonos externos netos son cero también en el largo plazo. Del mismo modo, suponemos que la política fiscal es balanceada a largo plazo y, con ello, la deuda neta del gobierno es cero. Dado que el factor de descuento de los hogares ( $\beta$ ) determina el retorno real del capital en el largo plazo, tenemos que  $\beta=0.96$  implica una tasa de interés real de largo plazo de 4% aproximadamente. El costo de ajuste de los bonos externos es elegido positivo, pero cercano a cero de forma de garantizar un modelo estacionario sin afectar mayormente las dinámicas de corto plazo (ver Schmitt-Gronhe y Uribe, 2001). Por simplicidad, contemplamos que la tasa de impuestos en ambos sectores es igual a 23%.

Tabla VI.2. Agregados macroeconómicos implicados por parámetros calibrados

Parámetro	Explicación	Valor
$\bar{H}^C / (\bar{H}^C + \bar{H}^M)$	Razón empleo cobre-empleo total	0.023
$\bar{P}\bar{C} / \bar{P}\bar{I}\bar{B}^n$	Razón Consumo privado-PIB total	0.548
$\bar{P}(\bar{I}^C + \bar{I}^M) / \bar{P}\bar{I}\bar{B}^n$	Razón inversión-PIB total	0.222
$\bar{P}\bar{G} / \bar{P}\bar{I}\bar{B}^n$	Razón Consumo público-PIB total	0.230
$\bar{P}^C\bar{V}^C / (\bar{P}^C\bar{V}^C + \bar{P}^M\bar{X}^M)$	Razón exportaciones cobre-total exportaciones	0.446

### **Metodología de estimación**

Los parámetros no calibrados son estimados mediante métodos bayesianos. El método bayesiano se puede resumir de la siguiente forma. Primero, se establece una distribución a priori con densidad  $p(\Theta)$  para los parámetros estructurales a ser estimados,  $\Theta$ . Segundo, los datos  $\{Y^T\}$  son utilizados para calcular la función de verosimilitud,  $L(Y^T|\Theta)$ . Tercero, la distribución a priori y la función de verosimilitud se combinan de manera de obtener la distribución posterior de  $\Theta$  de acuerdo con el teorema de Bayes. En particular, la distribución posterior resultante,  $p(\Theta|Y^T)$ , tiene la forma

$$p(\Theta|Y^T) \propto L(Y^T|\Theta) p(\Theta).$$

Para aproximarse a la forma de esta distribución, se generan valores aleatorios de la distribución mediante técnicas de simulación. Con estos valores, es posible calcular estadísticos que resuman las distribuciones de los coeficientes estructurales (modas, medias y desviaciones estándar de la distribución a posteriori). Para calcular la función de verosimilitud se procede de la siguiente forma. Primero se encuentra la solución del modelo y se escribe en la forma estado-espacio. Luego, con la forma espacio-estado, se utiliza el filtro de Kalman para evaluar la función de verosimilitud de los datos condicional en el modelo (para más detalles ver Schorfheide (2000) y Fernández-Villaverde y Rubio-Ramírez (2007)).

### **Datos macroeconómicos**

Para estimar el modelo, se utilizan datos trimestrales del período 1996-2016. Las variables observables son: PIB real desestacionalizado minero y no minero, la inversión real total (formación bruta de capital fijo), los salarios reales, el empleo total, tipo de cambio real medido, los ingresos

fiscales como porcentaje del PIB y el precio del cobre en dólares. Estas son las mismas variables usadas en la evidencia econométrica semi-estructural. Cada una de estas variables es obtenida de la base de datos estadísticos del Banco Central de Chile. Para usarlas en la estimación, estas variables son transformadas de forma de expresarse como brechas, es decir, como desvíos porcentuales de sus niveles tendenciales o de largo plazo. Para ello, se utiliza el filtro Hodrick-Prescott para obtener las tendencias del PIB real minero, PIB real no minero, la inversión real y el empleo total. Para el caso del tipo de cambio real, los ingresos fiscales como porcentaje del PIB y el precio del cobre en dólares usamos su promedio como sus tendencias de largo plazo.

### **Resultados de la estimación bayesiana**

Usando los valores presentados en la tabla VI.1, se estima el resto de los parámetros por métodos bayesianos. Los resultados de esta estimación, en conjunto con la distribución a priori, se encuentran en la tabla VI.3. Las distribuciones a priori de estos parámetros estimados resumen la información previa sobre el potencial valor de estos parámetros. En general, la elección de estas distribuciones se basa en evidencia presentada en estudios anteriores, como Fernández-Villaverde et al (2011), Altig et al (2011), Fornero y Kirchner (2014), Medina y Soto (2007), Medina y Soto (2016). En dicha tabla también se presenta una estimación de la moda de la distribución a posterior y una estimación del desvío estándar local del parámetro en la moda. La primera columna contiene el parámetro estimado, la segunda columna muestra la forma de la distribución a priori considerada. La tercera y cuarta son la media y desviación estándar supuesta para la distribución a priori. La quinta y sexta columna tiene el valor de la moda y desviación estándar en torno a la moda de las distribución posteriori del modelo dado los datos macroeconómicos.

Tabla VI.3. Parámetros estimados con metodología bayesiana

<b>Parámetro</b>	<b>Dist. a priori</b>	<b>Media a priori</b>	<b>D. Est a priori</b>	<b>Moda a post.</b>	<b>D. Est a post.</b>
$\eta_D$	Gamma	0,50	0,05	0,2444	0,0009
$\eta^*$	Gamma	0,50	0,05	0,3143	0,0020
$\omega_C$	Gamma	0,20	0,20	0,0978	0,0019
$\theta_C$	Gamma	0,50	0,05	0,2444	0,0007
$\varphi_w$	Beta	0,50	0,10	0,7444	0,0060
$\phi$	Gamma	2,50	0,50	1,3082	0,0367
$\gamma_1$	Gamma	0,20	0,02	0,1260	0,0014
$\phi_G$	Gamma	0,20	0,02	0,1926	0,0017
$\rho_{\alpha^C}$	Beta	0,70	0,10	0,9927	0,0011
$\rho_{\alpha^M}$	Beta	0,70	0,10	0,9938	0,0016
$\rho_{F^C}$	Beta	0,70	0,10	0,8422	0,0142
$\rho_{p^C}$	Beta	0,70	0,10	0,9427	0,0054
$\rho_{p^F}$	Beta	0,70	0,10	0,9914	0,0008
$\rho_{y^*}$	Beta	0,70	0,10	0,9071	0,0032
$\rho_H$	Beta	0,70	0,10	0,8603	0,0075
$\rho_{rev}$	Beta	0,70	0,10	0,9925	0,0014
$\rho_r$	Beta	0,70	0,10	0,9778	0,0033

Las estimaciones muestran que existe complementariedad de los bienes internos no mineros con los factores productivos de la producción minera ( $\theta_C = 0,2444 < 1$ ). Del mismo modo, la demanda interna tiene baja sustitución entre bienes internos no mineros y los bienes externos en la demanda interna final ( $\eta_D = 0,2444 < 1$ ). Algo similar se obtiene para la elasticidad precio de la demanda

externa por bienes internos no mineros ( $\eta^* = 0,3143 < 1$ ). Así, podemos concluir que cambios en precios relativos, tales como el tipo de cambio real no afectan excesivamente la demanda por bienes internos no mineros porque las elasticidades de sustitución son bajas. Puesto de otra manera, la apreciación del tipo de cambio real no es tan severa para reducir la demanda por bienes internos. Esto es coherente con otras estimaciones de la demanda por exportaciones no cobre de Chile (ver por ejemplo, Monfort, 2008).

Se estima un encadenamiento productivo en la parte baja de lo derivado en base a los datos de la OECD ( $\omega_C = 0,0978$ ). Esto quiere decir que, en promedio, se requieren 0,1 unidades de bienes no mineros para exportar una unidad del sector minero. Tomando el tamaño relativo de los sectores, se obtiene que 1,6% del PIB no minero es usado como insumo intermedio de la minería. Si bien esta participación no es grande, la complementariedad de esta demanda de insumo intermedio con los factores productivos de la minería lo hace relevante en términos económicos. El resto de los parámetros estimados están en línea con las estimaciones de otros estudios para economías pequeñas y abiertas (ver Adolfson et al (2007) y Medina y Soto (2007)).

Tabla VI.3 (continuación). Parámetros estimados con metodología bayesiana

<b>Parámetro</b>	<b>Dist. a priori</b>	<b>Media a priori</b>	<b>D. Est a priori</b>	<b>Moda a post.</b>	<b>D. Est a post.</b>
$\sigma_{a^C}$	Gamma	0,0400	0,0040	0,0407	0,0003
$\sigma_{a^M}$	Gamma	0,0400	0,0040	0,0305	0,0002
$\sigma_{F^C}$	Gamma	0,0400	0,0040	0,0404	0,0002
$\sigma_{p^C}$	Gamma	0,1500	0,0150	0,1428	0,0014
$\sigma_{p^F}$	Gamma	0,0100	0,0010	0,0177	0,0001
$\sigma_{y^*}$	Gamma	0,0500	0,0100	0,0959	0,0005
$\sigma_H$	Gamma	0,0100	0,0010	0,0177	0,0001
$\sigma_{rev}$	Gamma	0,0200	0,0020	0,0355	0,0001
$\sigma_r$	Gamma	0,0100	0,0010	0,0121	0,0001

Un ejercicio adicional consiste en evaluar si el encadenamiento productivo del sector minero induce un mejor ajuste empírico del modelo. Para ello realizamos una comparación de modelos al estimarlo con y sin encadenamiento productivo del sector minero. Los resultados de este ejercicio sustentan que el modelo con encadenamiento productivo tiene un mejor ajuste empírico que sin encadenamiento. Este ajuste del modelo es medido por medio del log de la densidad del modelo condicional en los datos, el cual es -947,51 para el caso con encadenamiento productivo y es -1052,87 para el caso sin encadenamiento productivo. Por lo tanto, el modelo con encadenamiento productivo es muchas veces más probable que el modelo sin encadenamiento productivo para explicar las variables macroeconómicas usadas.



## VII. Bibliografía

- Adolfson, M., S. Laséen, J. Lindé y M. Villani, 2007, “Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE model with Incomplete Pass-Through,” *Journal of International Economics* 72: 481-511.
- Altig, D., L. Christiano, M. Eichenbaum y J. Lindé, 2011, “Firm-Specific Capital, Nominal Rigidities and the Business Cycle,” *Review of Economic Dynamics* 14(2): 225-247.
- Angelopoulos K, G. Economides y A. Philippopoulos, 2010, “What is the best environmental policy? Taxes, permits and rules under economic and environmental uncertainty,” Working Paper, CESifo.
- Arezki, R. y F. van der Ploeg, 2010, “Trade policies, institutions and the natural resource course,” *Applied Economics Letter* 17(15): 1143-1451.
- Blanchard, O. y J. Galí, 2010, “Labor Markets and Monetary Policy: A New Keynesian Model with Unemployment,” *American Economic Journal: Macroeconomics* 2(2): 1-30.
- Chari, V.V., P. Kehoe y E. McGrattan, 2007, “Business Cycle Accounting,” *Econometrica* 75(3): 781-836.
- Culver, W. y C. J. Reinhart. 1989, “Capitalist Dreams: Chile's Response to Nineteenth-Century World Copper Competition.” *Comparative Studies in Society and History* 31(4): 722–744.
- De Gregorio, J., 2009, “Economic Growth in Chile and Copper,” mimeo, Banco Central de Chile. Disponible en [www.bis.org/review/r090915d.pdf](http://www.bis.org/review/r090915d.pdf)
- Eyraud, L., 2015, “End of the Supercycle and Growth of Commodity Producers: The Case of Chile,” IMF Working Paper WP/15/242.
- Fernández-Villaverde, J. y J. Rubio-Ramírez, 2007, “Estimating Macroeconomic Models: A Likelihood Approach,” *Review of Economic Studies* 74(4): 1059–1087.
- Fernández-Villaverde, J., P. Guerrón-Quintana, J. Rubio-Ramírez y M. Uribe, 2011, Risk Matters: the Real Effects of Volatility Shocks” *American Economic Review* 101: 2530–2561.
- Figueroa, E. y E. Calfucura, 2003, “Growth and green income: evidence from mining in Chile,” *Resources Policy* 29(3-4): 165-173.
- Figueroa, E., C. Orihuela y E. Calfucura, 2010, “Green accounting and sustainability of the Peruvian metal mining sector,” *Resources Policy* 35(3): 156-167.
- Fischer, C. y M. Springborn, 2011, “Emissions targets and the real business cycle: Intensity targets versus caps or taxes,” *Journal of Environmental Economics and Management* 62: 352–366.
- Fornero, J. y M. Kirchner, 2014, “Learning about Commodity Cycles and Saving-Investment Dynamics in a Commodity-Exporting Economy,” Documento de Trabajo del Banco Central de Chile # 727.
- Fuentes, F. y C. García, 2014, “Ciclo Económico y Minería del Cobre en Chile”, mimeo, ILADES-Universidad Alberto Hurtado.
- Gertler, M., L. Sala y A. Trigari, 2008, “An Estimated Monetary DSGE Model with Unemployment and Staggered Nominal Wage Bargaining,” *Journal of Money, Credit and Banking* 40(8):1713-1764.
- Gertler, M. y A. Trigari, 2009, “Unemployment Fluctuations with Staggered Nash Wage Bargaining,” *Journal of Political Economy* 117(1): 38-86.
- Golosov, M., J. Hassler, P. Krusell y A. Tsyvinski, 2011, “Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium” NBER Working Paper # 17348.
- Hall, R., 2005, “Employment Fluctuations with Equilibrium Wage Stickiness.” *American Economic Review* 95 (1): 50–65.

- Heutel, G., 2012, How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks. *Review of Economics Dynamics* 15: 244–264.
- Jara, J. J., G. Lagos, F. Dubournais D., C. Figueroa B., E. Morales, D. Peters N. y A. M. Sanzana, 2016, “Modelamiento de escenarios de desarrollo minero e impactos económicos, sociales y ambientales en Chile: 2015-2035”, mimeo, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Medina, J. P. y C. Soto, 2007, “The Chilean Business Cycles Through the Lens of a Stochastic General Equilibrium Model”, Documento de trabajo del Banco Central de Chile # 457.
- Medina, J. P. y C. Soto, 2016, “Commodity Prices and Fiscal Policy in a Commodity Exporting Economy”, *Economic Modelling*, vol. 59(C): 335-351.
- Meller, P., 2013, “La Viga Maestra y El Sueldo de Chile: Mirando el futuro con los ojos del cobre.” Santiago: Uqbar Editores.
- Mendoza, E., 1991, “Real Business cycles in a small-open economy,” *American Economic Review* 81: 797-818.
- Mendoza, E., 1995, “The Terms of Trade, the Real Exchange Rate, and Economic Fluctuations,” *International Economic Review* 36: 101-137.
- Monfort, B., 2008, “Chile: Trade Performance, Trade Liberalization, and Competitiveness,” *IMF Working Paper* # 08/128.
- Sachs, J. y A. Warner (1997), “Sources of Slow Growth in African Economies,” *Journal of African Economies* 6(3): 335-76.
- Schmitt-Grohe, S. y M. Uribe, 2003, “Closing Small Open Economy Models,” *Journal of International Economics* 61: 163-185.
- Schmitt-Grohe, S. y M. Uribe, 2017, “How Important Are Terms Of Trade Shocks?,” *International Economic Review*, forthcoming.
- Schorfheide, F., 2000, “Loss Function-based Evaluation of DSGE Model,” *Journal of Applied Econometrics* 15(6): 645–670.
- Shimer, R., 2012. “Wage rigidities and jobless recoveries,” *Journal of Monetary Economics* 59(S): S65-S77.
- Sims, C., 1980, “Macroeconomics and Reality,” *Econometrica* 48(1): 1–48.
- Spilimbergo, A., 1999, “Copper and the Chilean Economy 1960-1998”, *IMF Working Paper* # 99/57.
- Stock, J. y M. Watson, 2001, “Vector Autoregressions,” *Journal of Economic Perspectives* 15(4): 101–115.
- Toro, J. C., J. Ortúzar, J. Zamorano, P. Cuadra, J. Hermorsilla y C. Spröhnle, 2012, “Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of the World’s Greatest Known Concentration of Copper,” *Society of Economic Geologists*, Special Publication 16: 105-126.
- Valenzuela, L., 1996, “The Copper Smelting Company “Urmeneta y Errázuriz” of Chile: an Economic Profile, 1860–1880,” *The Americas* 53(2): 235–271.