



**“SHOCKS EN EL PRECIO DEL
COBRE E INVERSIÓN EN CHILE”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN ANÁLISIS ECONÓMICO**

**Alumno: Mattias Rodrigo Gallegos Novoa
Profesor Guía: Luis Felipe Céspedes Cifuentes**

Santiago, Agosto 2023

SHOCKS EN EL PRECIO DEL COBRE E INVERSIÓN EN CHILE

Mattias Rodrigo Gallegos Novoa
Profesor Guía: Luis Felipe Céspedes Cifuentes

Agosto 2023

Resumen

Durante los últimos 25 años el precio del cobre ha experimentado un aumento muy significativo. El precio real de esta materia prima aumentó un 130 por ciento entre el periodo 1996-2005 y el periodo 2005-2019. El presente trabajo analiza el impacto de este significativo aumento en el precio del cobre sobre la inversión minera y no minera en Chile, el principal productor mundial de cobre. Utilizando la metodología de vectores autorregresivos estructurales, esta investigación muestra que un *shock* positivo en el precio del cobre provoca un incremento significativo en la tasa de inversión minera. No se encuentra evidencia de una respuesta significativa de la tasa inversión no minera a *shocks* al precio del cobre. Además, se muestra que los cambios en el precio del cobre llegan a explicar casi un cuarto de la varianza de la tasa de inversión minera y menos de un cinco por ciento de la varianza de la tasa de inversión no minera.

Palabras Claves: Precio del Cobre, Inversión, Vectores Autorregresivos Estructurales.

Clasificación JEL: C32, E22, Q31.

Destacados

- La demanda mundial por *commodities* ha incrementado fuertemente en los últimos 25 años.
- El precio promedio del cobre ha incrementado cerca de 130 por ciento a partir del año 2005.
- La inversión no minera, como porcentaje del PIB, ha disminuido levemente entre 1996-2019.
- La inversión minera, como porcentaje del PIB, ha incrementado de forma importante desde 2005.
- Se argumenta que existe una relación significativa entre los cambios en el precio del cobre y la tasa de inversión minera.

1. Introducción

En los últimos 25 años, los precios de las materias primas han experimentado un importante aumento en los mercados internacionales, el precio del cobre no ha sido la excepción. Específicamente, el precio real promedio del metal rojo ha aumentado cerca de un 130 por ciento entre el periodo 2005q2-2019q4 respecto del periodo 1996q1-2005q1. Este incremento en el precio de las materias primas, y especialmente del cobre, tiene como principal responsable el incremento en la demanda mundial por *commodities*, donde el acelerado desarrollo industrial de China ha jugado un rol fundamental. En este contexto, aquellos países exportadores netos de materias primas, como Chile, exhibieron una significativa mejoría en sus términos de intercambio. En términos macroeconómicos, este aumento en el precio del cobre ha sido particularmente relevante en el caso de Chile. Lo anterior producto de que no solo es el mayor productor de cobre del mundo, con 5,2 millones de toneladas del metal extraídas en 2022, sino que también porque sus reservas de cobre se estiman en cerca de 200 millones de toneladas ([US Geological Survey, 2023](#)).

Como resultado del *boom* del precio del cobre, que comenzó a mediados de los años 2000, la economía chilena habría experimentado importantes efectos macroeconómicos: [Fuentes y García \(2016\)](#) documentan que el aumento en el precio de cobre habría acelerado la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y la inversión agregada. [Álvarez, García-Marín e Ilabaca, \(2021\)](#) proveen evidencia que apunta a que el aumento en el precio del cobre habría reducido significativamente la pobreza. Mientras que el [Centro de Sistemas Públicos \(2019\)](#) muestra que en la Región de Antofagasta, el incremento en el precio del cobre, contribuyó a elevar el ingreso familiar real, reducir el porcentaje de población en condición de pobreza multidimensional, aumentar la tasa de ocupación y mejoras en la calidad del empleo.

Un estudio de la Dirección de Presupuestos indica que el mayor precio del cobre significó que la recaudación fiscal por este concepto pasó de representar un 3,7 por ciento en 2001 a 31,9 por ciento en 2007, y esto fue un factor clave en la disminución de la deuda pública ([Dirección de Presupuestos, 2015](#)). Lo anterior es un resultado de un manejo fiscal responsable con el objetivo de suavizar los efectos de esta racha alcista en el precio del cobre en la implementación de la política fiscal. De hecho, la evidencia empírica ha tendido a sostener la hipótesis de que un régimen de metas de inflación ([De Gregorio y Labbé, 2011](#)), un sistema político estable con mercados financieros desarrollados ([Céspedes y Velasco, 2012](#)), un tipo de cambio flexible y una regla fiscal creíble ([Medina y Soto, 2016](#)), juegan un rol central para amortiguar el efecto de *shocks* externos en la actividad económica.

Sin embargo, una dimensión que ha recibido menos atención en el análisis de los efectos económicos del *boom* en el precio del cobre es la de su efecto en la inversión minera y no minera. En cifras del Banco Central de Chile, la inversión minera en Chile ha incrementado fuertemente desde el año 2005, pasando de un promedio de 2,74 por ciento del PIB para el periodo 1996q1-2005q1 a un 4,76 por ciento del PIB entre 2005q2-2019q4. Mientras que la inversión no minera pasó de un 20,17 por ciento del PIB entre 1996q1-2005q1 a un 17,41 por ciento del PIB entre 2005q2-2019q4. Es decir, la inversión minera, como porcentaje del PIB, ha aumentado de forma importante tras los *shocks* al alza en el precio del cobre, mientras que la inversión no minera, como porcentaje del PIB, ha disminuido en el mismo periodo.

El presente trabajo investiga los efectos sobre la inversión minera y no minera de un *shock* al precio del cobre. Teóricamente, un aumento en el precio del cobre que se perciba como persistente debiese generar un aumento en la inversión minera. Respecto de la inversión no minera, un *shock* del precio del cobre puede operar a través de distintos canales, pudiendo ser complementaria, sustituta o neutra. Así, este trabajo contribuye a utilizar una metodología de vectores autorregresivos estructurales (SVAR por sus siglas en inglés) para evaluar empíricamente la respuesta de la inversión ante *shocks* positivos al precio del cobre.

Dentro de los resultados obtenidos por esta investigación podemos destacar que: (i) la tasa de inversión minera, inversión minera como porcentaje del PIB, responde significativamente en el tiempo a *shocks* transitorios en el precio del cobre, (ii) la tasa de inversión no minera, inversión no minera como porcentaje del PIB, no responde significativamente en el tiempo a aumentos transitorios en el precio del cobre, (iii) un cuarto de la variación de la tasa de inversión minera se explica por *shocks* transitorios al precio del cobre, y (iv) menos de un cinco por ciento de la variación de la tasa de inversión no minera se explica por cambios transitorios en el precio del cobre. Este resultado es consistente con la hipótesis de que el aumento en el precio del cobre en el periodo bajo análisis generó un aumento en la inversión minera destinada a sostener los niveles de producción alcanzados por las compañías mineras al inicio del superciclo (ver [Medina \(2021\)](#)). En efecto, bajo esta hipótesis, un mayor precio del cobre transitorio eleva la producción por parte de las compañías mineras por sobre los niveles de producción sostenibles, lo que requiere una inversión de reposición que permita mantener la capacidad de producción en el largo plazo.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2, se revisa en profundidad literatura internacional y nacional sobre *shocks* al precio de materias primas y sus efectos macroeconómicos. La Sección 3 presenta los principales hechos estilizados que justifican esta investigación. En la Sección 4 se presentan en detalle las series de datos que se utilizan, su obtención y los ajustes que se realizan a las series para los fines de este trabajo. Luego, la Sección 5 presenta la metodología de VAR estructural utilizada, su pertinencia y justificación. La Sección 6 revisa los resultados de las estimaciones y se comentan sus alcances y limitaciones. Y finalmente, la Sección 7 se entregan las principales conclusiones de este trabajo.

2. Revisión de Literatura

Existe una amplia literatura empírica, tanto internacional como nacional, que relaciona los cambios en el precio de las materias primas con distintas variables macroeconómicas de interés a través de diversas herramientas metodológicas que se hace necesario revisar.

Una primera rama de investigaciones con las que se relaciona este trabajo, son aquellos que han investigado a nivel internacional los efectos de cambios en el precio de los *commodities* en las principales variables económicas a través de vectores autorregresivos. Por ejemplo, [Bernanke, Gertler y Watson \(1997\)](#) muestran la importancia de la política monetaria en Estados Unidos (EE.UU.) frente a los cambios en el precio del petróleo; [Lee y Ni \(2002\)](#) muestran que, para la mayoría de las industrias en EE.UU., un *shock* en el precio del petróleo implica una reducción significativa en su producción; [Fukunaga, Hirakata y Sudo \(2010\)](#) encuentran que un *shock* en el precio del petróleo tiene un impacto positivo en las industrias intensivas en petróleo en Japón; y [Killian \(2009\)](#) plantea que los aumentos del precio del petróleo pueden

tener efectos muy diferentes sobre el precio real del petróleo, dependiendo de la causa subyacente del aumento del precio. Sin embargo, la gran mayoría de estos estudios se han centrado en los efectos de *shocks* al precio del petróleo en países desarrollados.

En segundo lugar, se encuentra literatura que ha expandido el análisis de los trabajos presentados anteriormente a otros *commodities* y países en desarrollo. Particularmente, [Camacho y Perez-Quiros \(2013\)](#) usan una nueva definición de las funciones de respuesta al impulso de conmutación de Markov y encuentran que la respuesta del crecimiento de la producción de cada país a los cambios de precios de las materias primas depende del tiempo, del tamaño y del signo del *shock*; [Gruss \(2014\)](#) utiliza el análisis *Global VAR* (GVAR) para examinar el impacto de los ciclos de precios de las materias primas en el crecimiento de la producción en América Latina y el Caribe; [Knop y Vespignani \(2014\)](#) usan un modelo SVAR para Australia y muestran que un *shock* de uno por ciento en el precio de los *commodities* tiene efectos positivos en el producto del sector construcción y algunos subsectores de la manufactura, y negativos en sector minero y de servicios financieros; mientras que [Escobar \(2018\)](#), a través del Método Generalizado de Momentos, muestra que un *shock* en el precio del petróleo eleva el producto industrial en Colombia.

En tercer lugar, existen diferentes trabajos que han investigado los efectos para Chile de *shocks* al precio del cobre utilizando distintas metodologías. [De Gregorio y Labbé \(2011\)](#) usan un modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE por sus siglas en inglés) para mostrar que, ante un *shock* transitorio al precio del cobre, seguir una regla de política monetaria que responda a metas de inflación amortigua los efectos asociados a los *shocks* en los *commodities*. Por otro lado, [Céspedes y Velasco \(2012\)](#) caracterizan la respuesta de diferentes variables macroeconómicas durante periodos largos de cambios en el precio de *commodities* y muestran que la profundidad financiera tiende a reducir el impacto de los *shocks* de precios de las materias primas en la inversión.

Además, [Fornero, Kirchner y Yany \(2016\)](#) usan un modelo SVAR para concluir que *shocks* transitorios de 50 por ciento en el precio del cobre incrementan casi el doble la inversión no minera agrupada respecto de la inversión minera. Mientras que, [Medina y Soto \(2016\)](#) muestran, a través de un modelo DSGE, que cuando la política fiscal es creíble en respuesta a un *shock* transitorio del precio del cobre, hay una expansión menor del producto y mayor de la inversión. Por otra parte, [Medina \(2021\)](#) usa un modelo VAR para mostrar que un *shock* transitorio de 10-12 por ciento en el precio del cobre induce un aumento transitorio de 0,3 a 0,5 por ciento en la producción no minera agrupada después de un año.

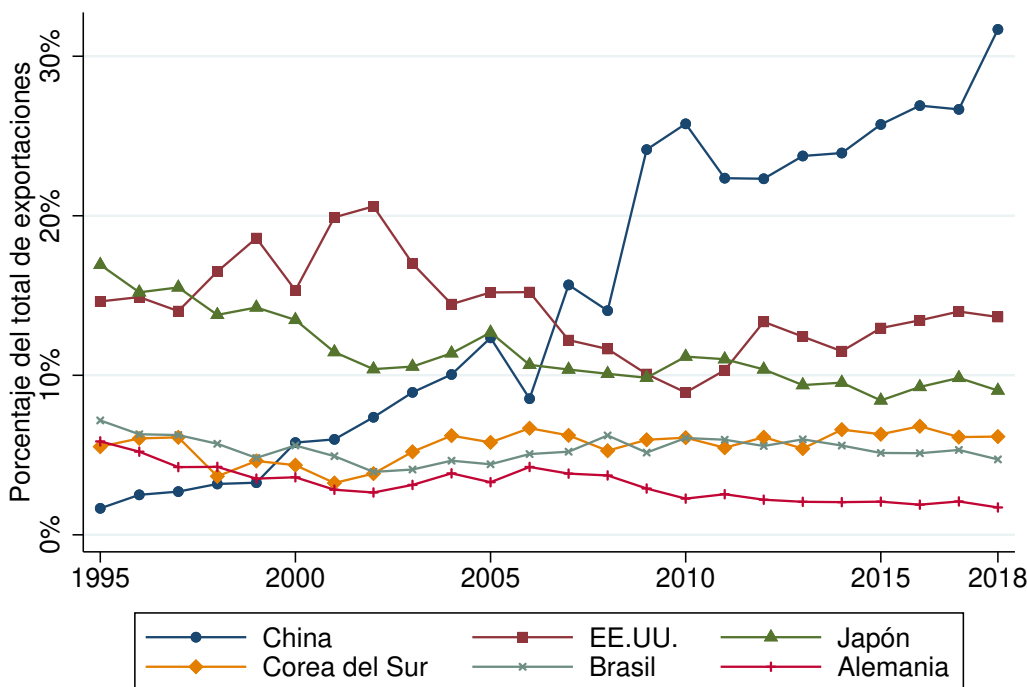
Finalmente, esta investigación se relaciona metodológicamente con el uso de vectores autorregresivos para modelar la relación entre las variables. El trabajo seminal de [Sims \(1980\)](#) sentó las bases de esta área de la macroeconometría al mostrar que los modelos de vectores autorregresivos entregan una aproximación creíble y coherente para describir datos, realizar pronósticos, hacer inferencia estructural y análisis de política. Luego, diversas investigaciones realizaron importantes aportes a la teoría económica detrás de los vectores autorregresivos y a cómo extender sus cualidades. Sumado a lo anterior, [Blanchard y Quah \(1988\)](#) plantean una nueva distinción al interior de la teoría de vectores autorregresivos e incorpora la existencia de componentes permanentes en las series económicas integradas de orden uno. Además, trabajos como los de [Pagan y Pesaran \(2008\)](#) y [Ouliaris, Pagan y Restrepo \(2018\)](#) discuten sobre cómo los modelos de *Vector Error Correction* (VEC) pueden ayudar a explotar las relaciones de largo plazo entre las variables.

A modo de resumen, este trabajo utiliza la metodología SVAR para analizar *shocks* positivos al precio del cobre y la repuesta de la inversión minera y no minera en Chile, y dialoga con aquellas investigaciones que utilizando vectores autorregresivos indagan sobre los efectos derivados de cambios en el precio de las materias primas.

3. Hechos Estilizados

Una de las principales razones del alza sostenida en el precio de los *commodities* es el rápido ascenso de la economía china a nivel mundial y la presión que China ha introducido en el mercado de las materias primas, aumentando la demanda de estos productos para su proceso de desarrollo. La Figura 1 muestra cómo esta realidad internacional se ha traducido en que China se ha convertido por lejos en el principal socio comercial para Chile, llegando a superar, como destino, el 30 por ciento del total de las exportaciones chilenas. También se observa cómo este salto cobra mayor importancia a partir del año 2005, año considerado crucial para el cambio en el nivel de precio de los *commodities*, a partir del cual deja definitivamente a EE.UU. y Japón como segundo y tercer socio comercial de Chile, respectivamente.

Figura 1: Evolución Socios Comerciales de Chile

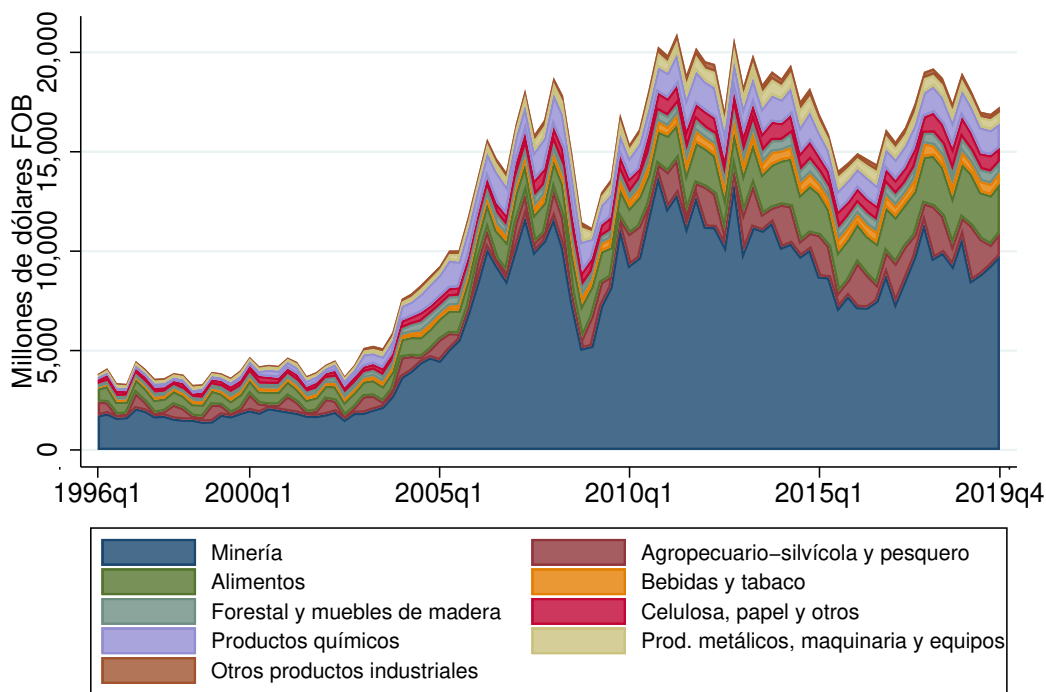


Fuente: Atlas of Economic Complexity, elaboración propia.

Ahora bien, al hacer un *zoom* en la evolución de las exportaciones de Chile, se aprecia un patrón similar. La Figura 2 muestra claramente cómo a partir de mediados de los años 2000 la minería chilena cobró mayor relevancia, donde, si bien ya era el principal sector exportador del país, a partir del año 2005 prácticamente duplicó sus ingresos por exportación minera, mientras que se mantuvieron relativamente estable las exportaciones de los otros sectores. Esto, sumado a lo anterior, muestra cómo el incremento de demanda de China por materias primas, no solo los convirtió en nuestro principal socio comercial, sino

que incrementó la importancia relativa del sector minero respecto del resto de las exportaciones.

Figura 2: Evolución Exportaciones de Chile



Fuente: Banco Central de Chile, elaboración propia.

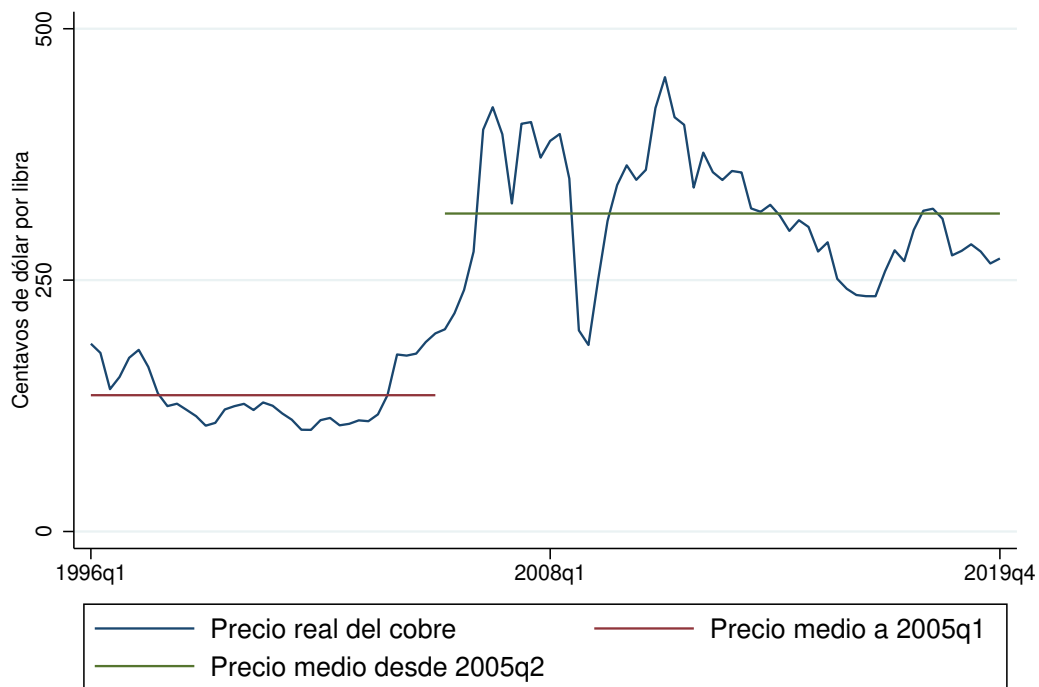
Por su parte, el precio del cobre ha presentado importantes cambios en los últimos 25 años, pasando de cotizar 186 centavos de dólar la libra¹ en el primer trimestre de 1996 a 271 centavos de dólar la libra en el cuarto trimestre de 2019. Sin embargo, lo más importante se refleja en la Figura 3, donde se aprecia cómo, desde mediados de los 2000, el precio del cobre se sitúa en un nuevo nivel, piso de cotización, respecto del periodo previo. El precio promedio del cobre entre 1996q1-2005q1 es de 135 centavos de dólar la libra, mientras que el precio promedio entre 2005q2-2019q4 ha alcanzado los 316 centavos de dólar la libra, exhibiendo un incremento de 133,32 por ciento en su precio promedio real entre ambos periodos. Este aumento en el precio del cobre en este periodo se da principalmente por la gran demanda de China por materias primas, lo que se complementa con las figuras previamente revisadas.

Este hecho tiene particular importancia para esta investigación, ya que los cambios en el precio del cobre no solo han significado incrementos o disminuciones de carácter transitorio, sino que también, particularmente desde el año 2005, el precio del metal rojo vive un cambio estructural² (Figura 3), de carácter permanente que lo llevó a incrementar fuertemente su precio y, por tanto, los resultados derivados de un cambio de estas características podrían diferir de aquellos típicamente estudiados con series de tiempo que únicamente poseen un componente transitorio en su evolución. Este cambio estructural en el precio del cobre (a partir del primer trimestre de 2005), también ha sido documentado por [De la Huerta y García-Cicco \(2016\)](#).

¹Cotización real en la Bolsa de Metales de Londres.

²Quiebre estructural que se ha documentado en [García-Cicco y Kawamura \(2015\)](#) señalando 2005q1 como el trimestre de quiebre en la serie de precio del cobre a través del método de Bai-Perron, Andrews-QLR y conmutaciones de Markov.

Figura 3: Evolución del Precio del Cobre

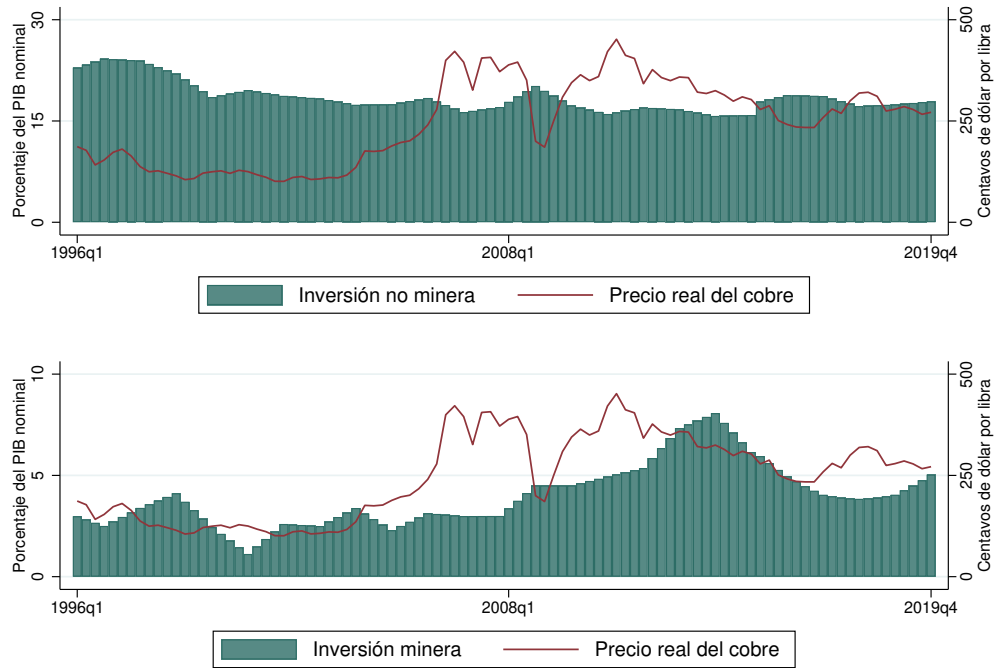


Fuente: Cochilco, elaboración propia.

La Figura 4 muestra la evolución en el tiempo de la inversión minera y no minera, como porcentaje del PIB nominal, y la potencial relación que estas podrían tener con la evolución del precio del cobre. Por un lado, se observa, en el panel superior, una cierta estabilidad de los niveles de la tasa de inversión no minera, existiendo una leve disminución en el periodo evaluado, lo que pareciera indicar la no existencia de una relación directa entre la evolución de la tasa de inversión no minera en Chile y la evolución del precio del metal rojo.

Mientras que, en el panel inferior, se puede ver cómo la tasa de inversión minera se ha incrementado a partir del año 2008 de manera significativa, alcanzando máximos entre 2013-2014, probablemente reaccionando con rezago dado el tiempo que tarda en percibirse la persistencia del incremento en el precio del cobre y el tiempo que también toma llevar a cabo la inversión en minería, por las grandes sumas de dinero, requisitos legales e inversión en infraestructura.

Figura 4: Inversión y Precio del Cobre



Fuente: Banco Central de Chile y Cochilco, elaboración propia.

Resumiendo, el presente apartado ha servido para mostrar algunos de los hechos más relevantes para esta investigación. El hambre de China por materias primas los ha llevado a convertirse en el principal socio comercial de Chile. Esto, principalmente, por la demanda china por cobre chileno, llevando a que la minería incremente su participación en nuestras exportaciones. A su vez, el precio del cobre ha experimentado aumentos sin precedentes, teniendo importantes rachas alcistas de corto plazo, pero además un importante cambio estructural a partir del año 2005. Y estos cambios en el precio del cobre no parecieran tener una relación clara con la evolución de la tasa de inversión no minera, pero sí pareciera existir una potencial relación positiva con la inversión en el sector minero.

4. Datos

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizan series de datos trimestrales entre el primer trimestre de 1996 y el cuarto trimestre de 2019. La gran mayoría de las series son extraídas del Banco Central de Chile (BCCCh), además se obtiene información de la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) y de la sección de estadísticas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). El Cuadro 1 muestra el detalle de las series utilizadas.

Para el modelo base, se usan dos bloques de variables. Las variables domésticas, compuestas por: Producto Interno Bruto, Inversión Minera (InvM) y no Minera (InvNM), Inflación Nacional (π), Tasa de Política Monetaria (TPM), Tipo de Cambio Real (TCR) y Balance de la Cuenta Corriente (CAB). Y las variables foráneas, que incluyen: Producto Interno Bruto de la OCDE, Tasa de Política Monetaria de Estados Unidos, Inflación de Estados Unidos y Precio Real del Cobre BML. En total, se utilizan once series de datos.

Cuadro 1: Datos Trimestrales 1996-2019

Variable	Fuente	Unidades
Producto Interno Bruto OCDE	OCDE	Índice, 2015=100. Precios constantes.
Inflación EE.UU.	Banco Central de Chile	Índice, 2015=100.
Tasa de Política Monetaria EE.UU.	Banco Central de Chile	Tasa de política monetaria de EE.UU.
Precio del Cobre	Cochilco	Centavos de dólar por libra, real, BML. Defactor: IPM de EE.UU. (base 2012=100).
Producto Interno Bruto	Banco Central de Chile	Precios del año anterior encadenado, ref. 2013 miles de millones de pesos.
Inversión no Minera y Minera	Banco Central de Chile	FBCF, precios corrientes, ref. 2013 miles de millones de pesos.
Inflación	Banco Central de Chile	IPC General, porcentaje de variación anual.
Tasa de Política Monetaria	Banco Central de Chile	Tasa de interés de política monetaria.
Tipo de Cambio Real	Banco Central de Chile	Índice promedio 1986=100.
Balance Cuenta Corriente	Banco Central de Chile	Ref. 2013, miles de millones de pesos.

Para los objetivos de esta investigación, diversas transformaciones son realizadas. Primero, para obtener la Inversión no Minera, se restó la Inversión Minera del Total de Inversión. Segundo, las series de Balance de la Cuenta Corriente, Inversión Minera y no Minera trimestral corresponden a interpolaciones lineales³ al encontrarse estas series únicamente en formato anual. Tercero, las variables Balance de la Cuenta Corriente, Inversión Minera y no Minera son desestacionalizadas utilizando CENSUS X-12⁴. Cuarto, las variables Inversión Minera, Inversión no Minera y Balance de la Cuenta Corriente corresponden a ratios respecto del PIB, todo en valores nominales. Quinto, para dar estabilidad y lograr una mejor interpretación, las siguientes variables son utilizadas en logaritmo natural: Precio del Cobre, Producto Interno Bruto Nacional y Tipo de Cambio Real.

Respecto de las variables internacionales, se utiliza el PIB de los países miembros de la OCDE como *proxy* del nivel de PIB mundial, al no disponer de alguna mejor alternativa de momento. Se utilizan las variables de Inflación y Tasa de Política Monetaria de Estados Unidos al ser, frecuentemente, las más relevantes en el escenario económico internacional y confiables de las que se encuentran disponibles, muy utilizadas en este tipo de investigaciones.

³La interpolación lineal es un procedimiento utilizado para estimar los valores que toma una función en un intervalo del cual conocemos sus valores en los extremos $(x_1, f(x_1))$ y $(x_2, f(x_2))$. Para estimar este valor utilizamos la aproximación a la función $f(x)$ por medio de una recta $r(x)$. En particular se sigue lo hecho por [Fornero, Kirchner y Yany \(2016\)](#) en esta materia.

⁴Método que permite eliminar el componente estacional de las series. En particular, se siguen las recomendaciones de [Gallardo y Rubio \(2009\)](#) para estudios del Banco Central de Chile.

El Cuadro 2 muestra de forma resumida cómo son incorporadas las variables en la estimación del VAR estructural y el orden de integración de cada variable utilizada.

Cuadro 2: Variables incorporadas en el SVAR

Variables	Unidades SVAR	Orden
Producto OCDE	Logaritmo Natural	I(1)
Inflación EE.UU	Porcentaje	I(0)
Tasa de Política Monetaria EE.UU.	Porcentaje	I(0)
Precio del Cobre	Logaritmo Natural	I(1)
Producto Interno Bruto	Logaritmo Natural	I(1)
Inversión no Minera	Porcentaje del PIB, Nominal	I(0)
Inversión Minera	Porcentaje del PIB, Nominal	I(0)
Inflación	Porcentaje	I(0)
Tasa de Política Monetaria	Porcentaje	I(0)
Tipo de Cambio Real	Logaritmo Natural	I(1)
Balance de Cuenta Corriente	Porcentaje del PIB, Nominal	I(0)

5. Metodología

En términos generales, para esta investigación se propone utilizar un modelo de vectores autorregresivos (VAR), ya que permite explotar de buena forma la información contenida en las series de datos a utilizar. Tal como plantea Sims (1980), esta metodología permite realizar una aproximación creíble y coherente para describir las series de datos, hacer proyecciones de las variables, realizar inferencia estructural respecto de la relación de las variables y análisis de políticas respecto de la relación que se encuentra entre las variables de interés para esta investigación: precio del cobre e inversión.

5.1. VAR Estructural

En particular se propone un modelo de vectores autorregresivos estructurales para pequeña economía abierta:

$$Ay_t = A_1^S y_{t-1} + \dots + A_p^S y_{t-p} + C^S x_t + Bu_t$$

Donde:

A^S , A_i^S y C^S son los coeficientes estructurales;

u_t son las innovaciones estructurales ortonormales no observadas; y

$$E(u_t u_t') = I_k$$

Asumiendo que A es invertible, podemos premultiplicar por A^{-1} para obtener la forma reducida del SVAR:

$$y_t = \underbrace{A^{-1}A_1^S}_{A_1} y_{t-1} + \dots + \underbrace{A^{-1}A_p^S}_{A_p} y_{t-p} + \underbrace{A^{-1}C^S}_C x_t + A^{-1}Bu_t$$

$$y_t = c + t^2 + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + Cx_t + \epsilon_t \quad (1)$$

Donde:

$$y_t = (PIB_t, InvNM_t, InvM_t, \pi_t, TPM_t, TCR_t, CAB_t).$$

$$x_t = (PIB_t^{OCDE}, \pi_t^{EEUU}, TPM_t^{EEUU}, PCu_t).$$

ϵ_t = Forma reducida de los errores estructurales.

c = Constante.

t^2 = Tendencia cuadrática.

y_t es el vector que representa las variables domésticas, donde las variables son ordenadas ubicando a la izquierda la variable más exógena y a la derecha la más endógena, e interactuando entre sí en ese orden. Por otro lado, x_t representa el vector de variables foráneas ordenadas bajo el mismo criterio. Además, el modelo incluye constante y tendencia cuadrática como términos determinísticos.

De la ecuación 1 (SVAR reducido) tenemos:

$$\epsilon_t = A^{-1}Bu_t$$

$$A\epsilon_t = Bu_t$$

$$\Sigma_\epsilon = A^{-1}BB'A^{-1'} \quad (2)$$

Donde Σ_ϵ es la matriz de varianza-covarianza simétrica:

$$\Sigma_\epsilon = \underbrace{\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{110} & \sigma_{111} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{210} & \sigma_{211} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{110} & \sigma_{210} & \dots & \sigma_{1010} & \sigma_{1011} \\ \sigma_{111} & \sigma_{211} & \dots & \sigma_{1011} & \sigma_{1111} \end{bmatrix}}_{66 \text{ piezas de información}}$$

5.1.1. Identificación *Shock* Transitorio

En particular, lo que se quiere modelar en este apartado es un *shock* positivo de carácter transitorio al precio del cobre, es decir, un aumento porcentual de la variable en el periodo cero que rápidamente desaparece y al cabo de pocos trimestres vuelve a su origen. Para analizar la interacción de corto plazo entre las variables, se usa un modelo de restricciones A-B. Se establece A como una matriz triangular inferior unitaria que describe la forma en la que se relacionan contemporáneamente las variables del modelo, y B como una matriz diagonal que permite ortogonalizar los errores estructurales y así aislar las perturbaciones entre sí. Así, estableciendo las restricciones necesarias en ambas matrices, y recordando la ecuación 2, podemos obtener Σ_ϵ por descomposición de Cholesky⁵.

⁵Es decir, una matriz simétrica definida positiva puede ser descompuesta como el producto de dos matrices, en este caso A y B.

$$\begin{aligned}
Ay_t = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ a_{21} & 1 & \ddots & \dots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & 1 & 0 \\ a_{111} & \dots & \dots & a_{1110} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln(PIB_t^{OCDE}) \\ \pi_t^{EEUU} \\ TPM_t^{EEUU} \\ \ln(PCu_t) \\ \ln(PIB_t) \\ InvNM_t \\ InvM_t \\ \pi_t \\ TPM_t \\ \ln(TCR_t) \\ CAB_t \end{bmatrix} \\
& \underbrace{\hspace{15em}}_{66 \text{ restricciones y } 55 \text{ parámetros a estimar}} \\
Bu_t = & \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & b_{1010} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & b_{1111} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_t^{PIB^{OCDE}} \\ u_t^{\pi^{EEUU}} \\ u_t^{TPM^{EEUU}} \\ u_t^{PCu} \\ u_t^y \\ u_t^{INM} \\ u_t^{IM} \\ u_t^{\pi} \\ u_t^{TPM} \\ u_t^{TCR} \\ u_t^{CAB} \end{bmatrix} \\
& \underbrace{\hspace{15em}}_{110 \text{ restricciones y } 11 \text{ parámetros a estimar}}
\end{aligned}$$

Se requieren $(n^2) + n(n - 1)/2 = 176$ restricciones, siendo n el número de variables en las matrices. En este caso se cuenta con $110 + 66 = 176$ restricciones, por lo que hay exacta identificación.

5.2. Especificación del Modelo

A continuación se realiza la especificación del modelo utilizado respecto de la selección de los rezagos óptimos, la estabilidad del modelo y la autocorrelación de las series.

5.2.1. Selección de Rezagos

La primera tarea para realizar una correcta especificación del modelo es revisar la cantidad de rezagos a incluir. Se debe tener en consideración que incluir una cantidad muy pequeña de rezagos tiene como resultado un modelo mal especificado, mientras que una cantidad muy grande genera una pérdida de grados de libertad. El Cuadro 3 muestra que el criterio de información de Akaike (AIC) selecciona cuatro rezagos como el óptimo, mientras que los criterios de información de Schwarz (SBIC) y Hannan-Quinn (HQIC) seleccionan 2 rezagos⁶.

En base a los criterios de información de Schwarz y Hannan-Quinn, y por el principio de parsimonia, se seleccionan dos rezagos a incluir en el modelo ($n = 2$), esto va en línea con lo utilizado por otros trabajos similares.

⁶Cada criterio selecciona el menor valor como el óptimo.

Cuadro 3: Selección de Rezagos

Rezago	AIC	HQIC	SBIC
0	-50.4234	-50.3017	-50.1219
1	-74.0028	-72.5425	-69.7274
2	-76.6623	-73.8633*	-70.3846*
3	-77.1362	-72.9986	-66.8846
4	-78.0801*	-72.6039	-64.5118

AIC: Criterio de Akaike

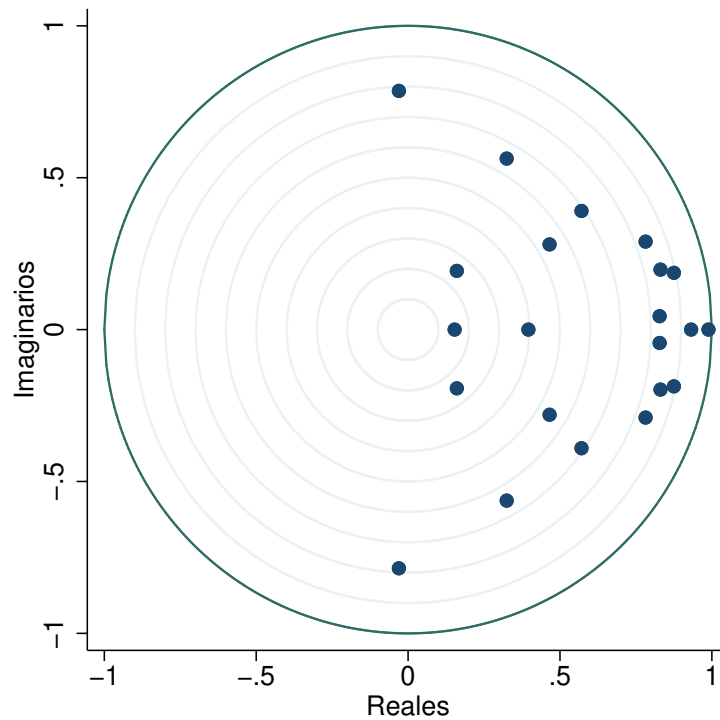
SBIC: Criterio de Schwarz

HQIC: Criterio de Hannan-Quinn

5.2.2. Estabilidad del Modelo

La condición de estabilidad del modelo hace referencia a que, si todas las raíces inversas del polinomio característico tienen un módulo menor a uno y se encuentran dentro del círculo unitario, entonces el VAR a estimar es estable. De no serlo, el modelo sería inválido y los errores estándar de las funciones de impulso-respuesta no serían válidos ni interpretables. En la Figura 5 se muestra que ninguna raíz se encuentra fuera del círculo unitario, por lo que esta especificación del VAR es estable.

Figura 5: Condición de Estabilidad



5.2.3. Autocorrelación de las Series

La prueba autocorrelación es particularmente importante para los modelos VAR, ya que permite mejorar la especificación del modelo en términos del número de rezagos óptimo. Como se presenta en el Cuadro 4, las series no presentan problemas de autocorrelación a dos ni a tres rezagos⁷, por lo que esto corroboraría la correcta selección de dos rezagos para el modelo basados en los criterios de información, parsimonia y autocorrelación.

Cuadro 4: Autocorrelación

Rezago	chi2	Grados de Libertad	Probabilidad
1	106.0281	64	0.0008
2	79.3664	64	0.0933
3	76.3205	64	0.1392
4	117.6675	64	0.0001

H_0 : No hay correlación serial al rezago indicado

6. Resultados

6.1. Funciones Impulso-Respuesta

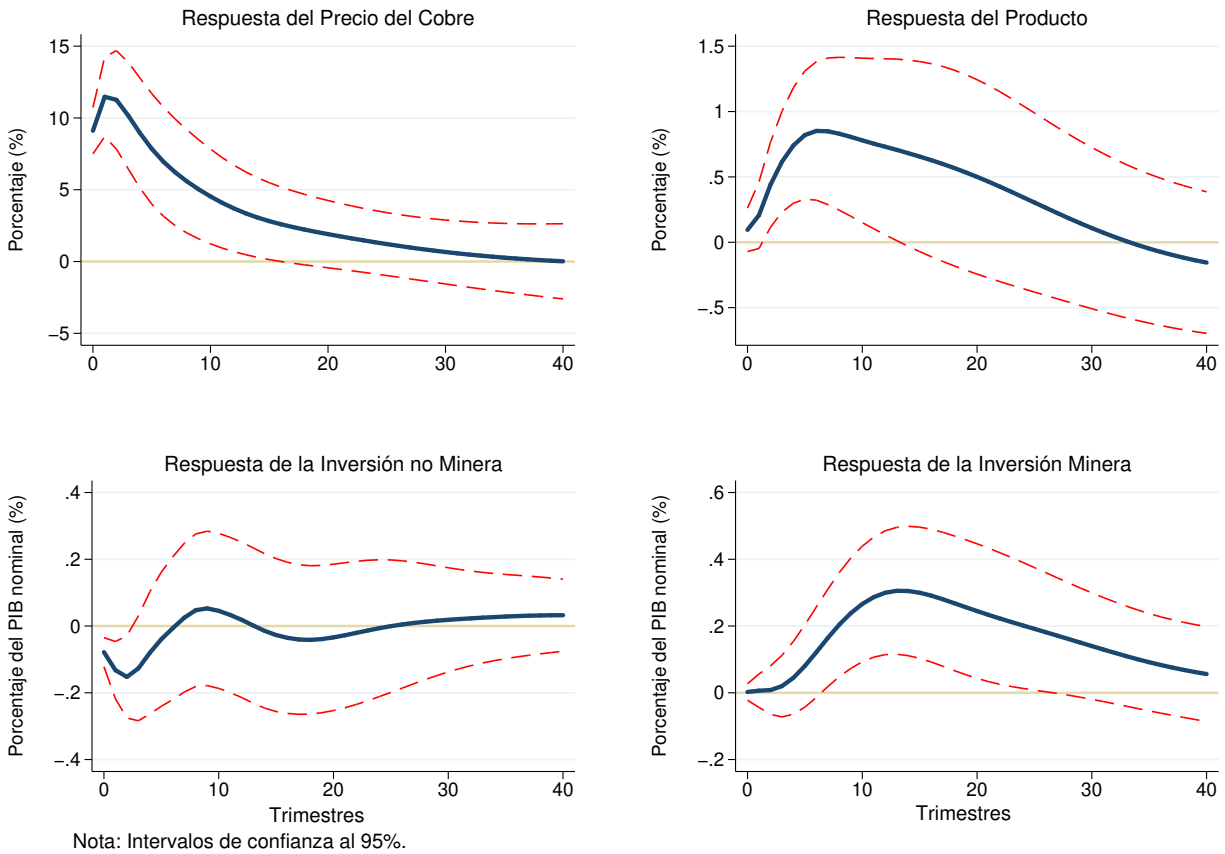
Las Figuras 6 y 7 muestran la respuesta de cada una de las variables del modelo a un *shock* positivo de carácter transitorio de 10 por ciento al precio del cobre.

En la Figura 6 se aprecia, en primer lugar, que el *shock* modelado corresponde a un incremento de 10 por ciento en el precio del cobre, que deja de ser significativo al décimo sexto trimestre y que luego converge a su nivel de estado estacionario, ya que corresponde a un cambio transitorio. Además, se observa que el producto responde de forma positiva y significativa al *shock* entre el tercer y el décimo tercer trimestre, alcanzando un *peak* cercano al 0,8 por ciento de incremento en el séptimo trimestre.

Al revisar la respuesta de la inversión, se ve que la tasa de inversión no minera responde negativa y significativamente solo hasta el tercer trimestre, pero luego su respuesta se vuelve no significativa e, inicialmente, transita entre valores negativos, luego positivos, y negativos nuevamente antes de llegar a su nivel estacionario. Mientras que la tasa de inversión minera responde de forma positiva durante todo el periodo, pero su respuesta se hace significativa entre el séptimo y el vigésimo sexto trimestre, alcanzando un incremento máximo cercano al 0,3 por ciento como porcentaje respecto del PIB nominal.

⁷Al ser los valores $p > 0.05$ no se puede rechazar la hipótesis nula.

Figura 6: Respuestas a un *shock* transitorio de 10 por ciento al Precio del Cobre



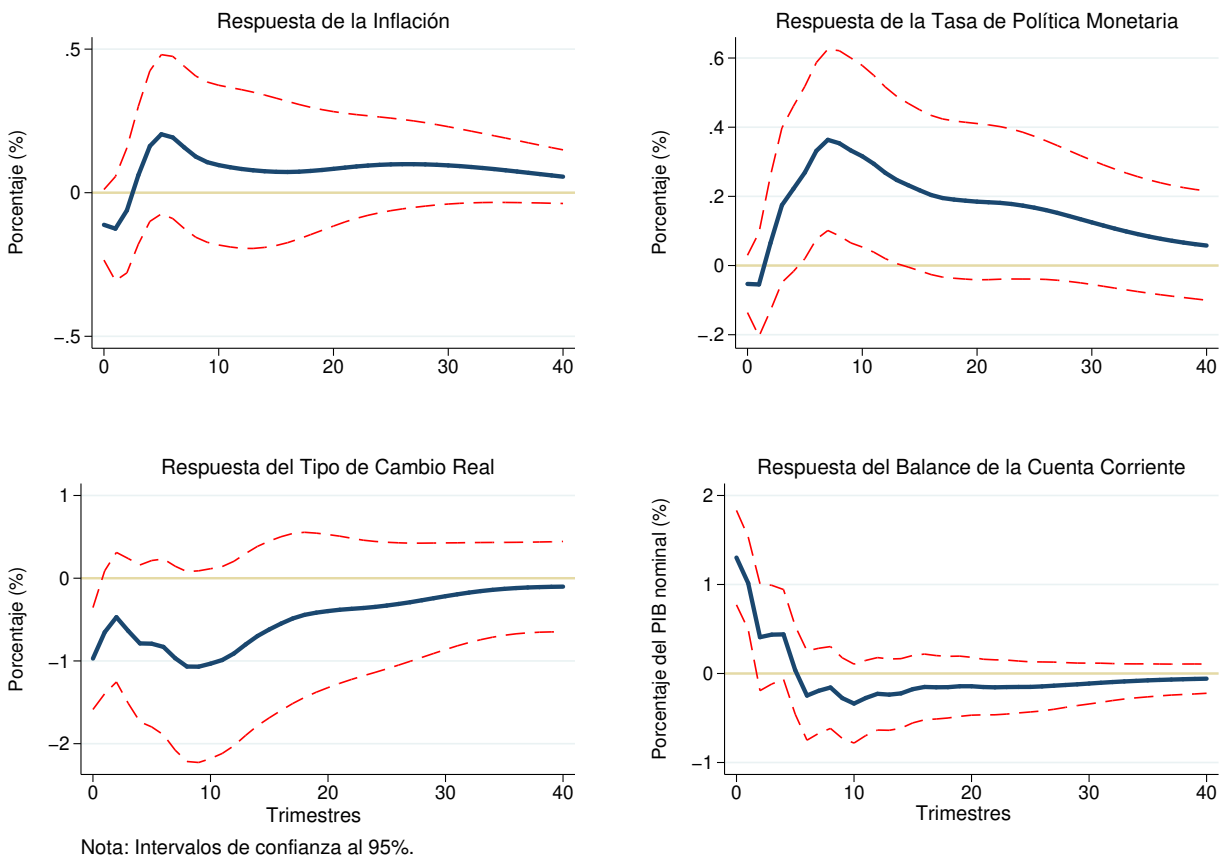
De estos resultados, la respuesta de la inversión es particularmente interesante, ya que, como se mostró al comienzo, la evidencia parecía sugerir la no existencia de una relación entre los cambios del precio del cobre y la tasa de inversión no minera, y una relación positiva de los cambios en la cotización del metal rojo y la tasa de inversión minera, lo que pareciera corroborarse en el panel inferior de la Figura 6. También es interesante el tiempo que tardaría en responder de forma significativa la tasa de inversión minera a *shocks* en el precio del cobre, lo que podría estar reflejando la demora en realizar dicho tipo de inversión producto de los tiempos propios de la inversión en la industria minera.

Adicionalmente, la Figura 7 muestra la respuesta del resto de variables del modelo a un *shock* de 10 por ciento transitorio al precio del cobre. La respuesta de la inflación sería inicialmente negativa, para luego volverse positiva, sin ser nunca significativa. La tasa de política monetaria responde inicialmente de forma negativa, para luego volverse positiva, siendo significativa solamente entre el quinto y el décimo tercer trimestre.

El tipo de cambio real responde negativamente (apreciación del TCR) todo el periodo, siendo significativa solo durante el primer trimestre tras el *shock*. Y el balance de la cuenta corriente incrementa en respuesta al cambio transitorio en el precio del cobre, pero solo es significativa por los dos primeros

trimestres. Todas estas respuestas van en línea con los resultados encontrados en otras investigaciones realizadas para Chile y revisada en la Sección 2.

Figura 7: Respuestas a un *shock* transitorio de 10 por ciento al Precio del Cobre



Respectos de los resultados de aquellas variables que no son de inversión y muestran alguna respuesta significativa, estos tienen sentido y guardan relación con la teoría económica ampliamente aceptada y los resultados obtenidos por las investigaciones mencionados en el apartado de Sección 2.

Primero, un *shock* transitorio positivo en el precio del cobre debiera incrementar el producto, ya que si bien se espera que los efectos a nivel sectorial sean mixtos, industrias con un peso relevante en la economía chilena como construcción y comercio se verían beneficiadas, y esto es lo que se ve de forma significativa entre el tercer y el décimo trimestre. Segundo, el mayor precio del cobre, transitorio, debiera hacer que el tipo de cambio real caiga y el peso chileno se aprecie respecto del dólar debido al mayor ingreso de divisas, lo que se da significativamente durante el primer trimestre. Y tercero, un cambio positivo en los términos de intercambio debiese generar un superávit en el balance de la cuenta corriente producto de la apreciación del tipo de cambio real, y este resultado es significativo por dos trimestres.

6.2. Descomposición de la Varianza

También resulta relevante revisar la descomposición de la varianza de las dos variables de interés de esta investigación: inversión minera y no minera, como porcentaje del PIB. En el Cuadro 5 se presenta un resumen de los resultados. Respecto de la tasa de inversión no minera, se ve que el precio del cobre explicaría únicamente un 11,28 por ciento de su variación en el primer periodo, y que cerca del 84 por ciento de su variación estaría determinada por la misma tasa inversión no minera y sus valores pasados. El peso específico de cada *shock* varía en el tiempo y se mantiene la idea general de que los cambios en la tasa de inversión no minera estarían determinados, principalmente, por sí misma, siendo la tasa de política monetaria de Estados Unidos, el producto global, la inflación estadounidense y local otras variables que explicarían, en suma, cerca del 52 por ciento, dejando menores porcentajes al resto de las variables al finalizar la simulación.

Por otro lado, una realidad distinta es la que se aprecia en la descomposición de la varianza de la tasa de inversión minera. Si bien, inicialmente las variaciones en la tasa de inversión minera se explican casi exclusivamente por cambios en sí misma, esto cambia con el tiempo, mostrando que, en el vigésimo trimestre, cambios en el precio del cobre explicarían cerca del 44 por ciento de la variación de la tasa de inversión minera, manteniéndose como la variable que mayormente explica los movimientos en la tasa de inversión minera, evidenciando la relevancia de los *shocks* al precio del cobre para explicar la variación en la tasa de inversión minera en Chile. Solamente la tasa de política monetaria de Estados Unidos se muestra como otra variable con un peso importante, llegando a explicar más del 20 por ciento de las variaciones de la tasa de inversión minera.

Cuadro 5: Descomposición de la Varianza (porcentaje del total explicado por cada variable)

Descomposición de la Varianza - Inversión no Minera											
Periodo	PIB ^{OCDE}	π^{EEUU}	TPM ^{EEUU}	PCu	PIB	InvNM	InvM	π	TPM	TCR	CAB
1	0.20	2.27	2.15	11.28	0.19	83.90	0	0	0	0	0
10	18.62	4.42	8.37	5.30	2.39	40.76	2.85	14.28	1.07	2.33	1.62
20	13.36	8.83	17.61	4.04	3.39	28.40	7.82	10.90	1.58	2.92	1.16
30	13.04	10.30	17.79	3.94	3.74	27.08	7.86	10.60	1.55	2.99	1.10
40	13.20	10.17	18.23	4.19	3.69	26.64	7.81	10.44	1.54	3.01	1.09

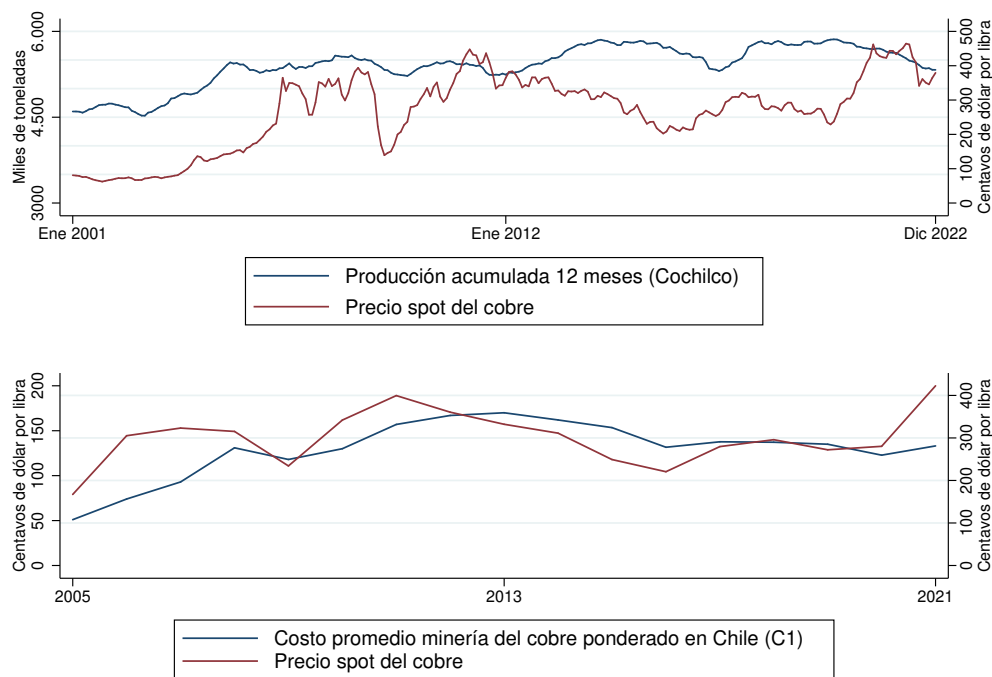
Descomposición de la Varianza - Inversión Minera											
Periodo	PIB ^{OCDE}	π^{EEUU}	TPM ^{EEUU}	PCu	PIB	InvNM	InvM	π	TPM	TCR	CAB
1	2.04	0.26	9.99	0.04	1.70	2.72	83.26	0	0	0	0
10	2.39	11.86	17.40	19.38	24.71	0.70	18.97	1.39	1.43	1.30	0.47
20	0.86	5.52	23.26	44.23	10.99	0.40	10.42	0.63	0.95	2.56	0.18
30	0.91	4.58	22.46	50.64	8.93	0.39	8.48	0.56	0.78	2.10	0.15
40	1.20	4.41	21.64	52.21	8.57	0.37	8.14	0.54	0.75	2.02	0.15

6.3. Discusión

La respuesta que presenta la tasa de inversión no minera es particularmente interesante, ya que si bien esta responde de forma negativa inicialmente, ante un shock positivo en el precio del cobre de un 10 por ciento, esta respuesta deja rápidamente de ser significativa. Una posible explicación de este fenómeno podría estar relacionada con menores encadenamientos productivos de esta actividad, tanto como insumo para otras actividades en la matriz insumo-producto de la economía como con sectores proveedores de insumos locales para este sector. Lo anterior está relacionado con los resultados obtenidos por [Knop y Vespignani \(2014\)](#) a nivel de producción sectorial en Australia de los sectores commodities. Estos autores documentan la existencia de efectos mixtos a nivel sectorial de shocks a los precios de las materias primas. Por otro lado, los efectos más relevantes en otros sectores podrían darse principalmente en las regiones mineras de nuestro país, tal como han mostrado [Álvarez, García-Marín e Ilabaca, \(2021\)](#), para municipios relativamente expuestos al *boom* del precio del cobre, y el [Centro de Sistemas Públicos \(2019\)](#) para el caso de la Región de Antofagasta.

Otro elemento de interés en estos resultados es que un *shock* transitorio, aun cuando persistente, tiene efectos en la tasa de inversión minera. Una forma de entender estos resultados está relacionada con el hecho de que el aumento en la tasa de inversión minera en este ciclo no estuvo asociada a un aumento en los niveles de producción de cobre. En efecto, tal como lo documenta [Medina \(2021\)](#), el aumento en el precio del cobre en el periodo bajo análisis generó un aumento en la inversión minera destinada a sostener los niveles de producción alcanzados por las compañías mineras al inicio del superciclo.

Figura 8: Producción acumulada, costo promedio ponderado y precio *spot* del cobre



Fuente: Cochilco, elaboración propia.

En esta línea, la producción minera en Chile estuvo relacionada con el precio *spot* del cobre, como muestra el panel superior de la Figura 8. En particular, un mayor precio transitorio del cobre tendió a elevar los niveles de producción. Pero dichos aumentos en los niveles de producción de corto plazo estuvieron asociados con aumentos significativos en los costos marginales de producción, lo que se muestra en el panel inferior de la Figura 8. En este contexto, la mayor tasa de inversión minera frente a un *shock* transitorio en el precio del cobre habría sido la respuesta necesaria para mantener los niveles de producción del sector a un costo marginal consistente con los niveles de rentabilidad exigida por la actividad minera.

Un canal adicional podría estar relacionado con el nivel elasticidad del proceso de inversión en exploración minera ante cambios en el precio del cobre, al ser este un proceso de inversión de menor envergadura respecto de otros que se realizan en la industria minera, al requerir de menores plazos de tiempo y menor inversión monetaria. Una idea similar es planteada por [Vivoda \(2017\)](#), quien argumenta que en 2013, y como respuesta al menor precio de los metales, incertidumbre de la demanda y pobres condiciones de mercado, las compañías mineras redujeron rápidamente sus actividades de exploración, con presupuestos un 29 por ciento menor que en 2012.

7. Conclusiones

Los principales resultados de esta investigación se encuentran en línea con la teoría económica: ante cambios transitorios en el precio del cobre, la tasa inversión no minera no presentaría una respuesta significativa en el tiempo, lo que se podría deber a resultados mixtos en la inversión entre los sectores no mineros, donde los sectores más ligados a la minería, como construcción, se podrían ver favorecidos, mientras que otros menos relacionados, como manufactura, podrían verse perjudicados por los cambios en el precio del cobre, por ejemplo por cambios en el tipo de cambio.

Mientras que la tasa de inversión minera responde de forma positiva y significativa con rezago respecto del *shock* transitorio en el precio del cobre. Lo anterior, ya que el proceso mismo de inversión minera toma tiempo de realizar, por las grandes sumas de dinero que involucra y los aspectos legales necesarios. Este efecto luego deja de ser significativo y desaparece con el tiempo, puesto que el cambio en el precio del metal rojo, al ser visto como momentáneo, no genera una ola de inversión en el sector durante mayor cantidad de periodos y la nueva inversión se limita a actuar en el margen que las nuevas condiciones transitorias del precio del cobre le permiten.

Por otra parte, la respuesta del resto de las variables del modelo son coherentes, tanto con lo que dicta la teoría económica y con lo investigado y presentado en este trabajo por la literatura, tanto internacional como nacional, dedicada al estudio de cambios en el precio de *commodities* y su efecto en las principales variables macroeconómicas, particularmente se muestra la respuesta significativa para el incremento en el producto, la caída en el tipo de cambio real y el superávit en el balance de la cuenta corriente derivados de un *shock* positivo transitorio al precio del cobre.

8. Bibliografía

Álvarez, R., García-Marín, Á., e Ilabaca, S. (2021). [Commodity price shocks and poverty reduction in Chile](#). *Resources Policy*, 70, 101177.

Bernanke, B. S., Gertler, M., y Watson, M. (1997). [Systematic monetary policy and the effects of oil price shocks](#). *Brookings papers on economic activity*, 1997(1), 91-157.

Blanchard, O. J. y Quah, D. (1988). [The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances](#). *The American Economic Review* Vol. 79, No. 4, pp. 655-673.

Camacho, M., y Perez-Quiros, G. (2013). [Commodity prices and the business cycle in Latin America: living and dying by commodities?](#). *Emerging Markets Finance and Trade*, 50(2), 110-137.

Centro de Sistemas Públicos (2019). [Estudio del superciclo del cobre y sus efectos en la Región de Antofagasta](#) *CSP - Ingeniería Industrial - Universidad de Chile*.

Céspedes, L. F., y Velasco, A. (2012). [Macroeconomic performance during commodity price booms and busts](#). *IMF Economic Review*, 60(4), 570-599.

Comisión Chilena del Cobre (2015). [Caracterización de los costos de la gran minería del cobre](#). *Dirección de Estudios y Políticas Públicas - Cochilco*.

Comisión Nacional de Productividad (2017). [Productividad en la Gran Minería del Cobre](#) *Estudios*.

De Gregorio, J., y Labbé, F. (2011). [Copper, the real exchange rate and macroeconomic fluctuations in Chile](#). *Banco Central de Chile*.

De la Huerta, C., y García-Cicco, J. (2016). [Commodity prices, growth and productivity: A Sectoral View](#). *Banco Central de Chile*.

Dirección de Presupuestos - Gobierno de Chile (2015). [Evolución, administración e impacto fiscal de los ingresos del cobre en Chile](#) *Indicador del balance cíclicamente ajustado, DIPRES*.

Dirección de Presupuestos - Gobierno de Chile (2019). [Informe de Finanzas Públicas Cuarto Trimestre 2019](#) *Estadísticas de las Finanzas Públicas, DIPRES*.

Escobar Morillo, M. D. R. (2018). [Efecto del precio del petróleo en el sector industrial de Colombia: un análisis empírico para los años 2000-2010](#). *Tesis Maestría en Economía, Pontificia Universidad Javeriana*.

Fornero, J., Kirchner, M., y Yany, A. (2016). [Terms of trade shocks and investment in commodity-exporting economies](#). *Banco Central de Chile, Series on Central Banking Analysis and Economic Policies* no. 22, p. 135-193.

- Fuentes, F., y García, C. J. (2016). [Ciclo económico y minería del cobre en Chile](#). *Revista Cepal*.
- Fukunaga, I., Hirakata, N., y Sudo, N. (2010). [The effects of oil price changes on the industry-level production and prices in the US and Japan](#). *National Bureau of Economic Research (No. w15791)*.
- Gallardo, M., y Rubio, H. (2009). [Diagnóstico de estacionalidad con X-12-ARIMA](#). *Estudios Económicos Estadísticos (No.76) del Banco Central de Chile*.
- García-Cicco, J., y Kawamura, E. (2015). [Dealing with the Dutch disease: Fiscal rules and macroprudential policies](#). *Journal of International Money and Finance*, 55, 205-239.
- Gruss, B. (2014). [After the boom—commodity prices and economic growth in Latin America and the Caribbean](#). *International Monetary Fund (No. 14-154)*.
- Kilian, L. (2009). [Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market](#). *American Economic Review*, 99(3), 1053-69.
- Knop, S. J., y Vespignani, J. L. (2014). [The sectorial impact of commodity price shocks in Australia](#). *Economic Modelling*, 42, 257-271.
- Lee, K., y Ni, S. (2002). [On the dynamic effects of oil price shocks: a study using industry level data](#). *Journal of Monetary economics*, 49(4), 823-852.
- Medina, J. P. (2021). [Mining development and macroeconomic spillovers in Chile](#). *Resources Policy*.
- Medina, J. P., y Soto, C. (2016). [Commodity prices and fiscal policy in a commodity exporting economy](#). *Economic Modelling*, 59, 335-351.
- Ouliaris, S., Pagan, A., y Restrepo, J. (2018). [Quantitative macroeconomic modeling with structural vector autoregressions – An EViews implementation](#). *Washington DC: IMF Institute for Capacity Development*.
- Pagan, A. R., y Pesaran, M. H. (2008). [Econometric analysis of structural systems with permanent and transitory shocks](#). *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(10), 3376-3395.
- Sims, C. A. (1980). [Macroeconomics and reality](#). *Econometrica: journal of the Econometric Society*.
- SNL Metals and Mining (2014). [World Exploration Trends](#). *Reports*.
- US Geological Survey. (2023). [Mineral Commodity Summaries 2023](#). *US Geological Survey*.
- Vivoda, V. (2017). [Determinants of foreign direct investment in the mining industry](#). *Mining in the Asia-Pacific: Risks, challenges and opportunities*, 19-33.