

Energía y ciclo económico en la economía chilena

Fernando Fuentes

Carlos J. García

Felipe Pinto

Junio 2016 (Versión Final)

La economía chilena ha estado sujeta a severos aumentos de precios en el sector energético, los que si bien han sido de distinta naturaleza, en conjunto podrían estar operando como *shocks* negativos de oferta. Esta presunción hace interesante y necesario cuantificar los impactos de cambios en los precios de la energía¹ sobre el ciclo económico en los últimos años. La evidencia parece clara; por ejemplo, desde el 2004 el PIB de la economía mostró una importante desaceleración, incluso antes de la crisis financiera del 2008, la cual coincidió con importantes aumentos del costo de la energía: primero, la crisis del gas con Argentina desde el 2004²; segundo, fuertes incrementos en el precio del petróleo y carbón desde el 2006; tercero, retrasos en los proyectos de generación de energía eléctrica³ y, por último, bajos niveles de hidrología (lluvias principalmente) en los últimos años, lo que incrementa directamente los costos de generación⁴.

La literatura internacional sobre ciclo económico y fluctuaciones en el precio de la energía se ha concentrado mayoritariamente en cambios exógenos al precio del petróleo. Es así como, desde Rasche y Tatom (1981) y Halmiton (1983), la literatura empírica ha identificado importantes impactos macroeconómicos de corto y mediano plazo⁵, con fluctuaciones en el precio del petróleo⁶. De hecho, según Kilian (2008) cuatro son las razones por las cuales dicho precio ha monopolizado la atención de los economistas: los precios del petróleo experimentan

¹ Los precios genéricos de la energía a los que se hace referencia corresponden al petróleo y a la energía eléctrica, con lo cual se considera implícitamente también el carbón y el gas natural en tanto fuentes de generación.

² Ver Blümel et al. (2009).

³ Ver Agurto et al. (2013).

⁴ Ver Fuentes (2013).

⁵ Alternativamente, para relacionar los efectos de los precios de la energía sobre el crecimiento económico de largo plazo, se han utilizado índices compuestos por diferentes tipos de energía como en Stern (1993), Gardner and Joutz, (1996), Asafu-Adjaye (2000), Van Zon and Yetkiner (2003), Jiménez-Rodríguez and Sánchez (2005), y Berk and Yetkiner (2013).

⁶ Ver por ejemplo Barro (1984), Mork (1989), Kahn and Hampton (1990), Huntington (1998), Brown and Yucel (1995, 1999, 2002), Hamilton (2005, 2008, 2009, 2010, 2012), Dickman and Holloway (2004), Guo and Kliesen (2005), Sill (2007), Krey et al. (2007), Kilian (2008), Oladosu (2009). En el caso de Chile, ver Álvarez et al. (2008).

fuertes y sostenidas alzas; la demanda de petróleo es comparativamente inelástica; los cambios del precio del petróleo son exógenos o de origen externo⁷ y ocurren en presencia de importantes imperfecciones en un mercado del trabajo caracterizado por salarios rígidos⁸; finalmente, su incremento de precio comúnmente coexiste con importantes desajustes económicos, tales como recesiones, desempleo e inflación.

Mucho menos atención en la literatura internacional ha tenido el impacto sobre el ciclo económico de las fluctuaciones en el precio del gas natural y del carbón⁹. Por su parte, las fluctuaciones del precio de la energía eléctrica y su impacto en el ciclo económico solo han sido explicadas por cambios en los precios de los insumos para producir dicha energía (petróleo, gas natural y carbón¹⁰), y no por los efectos que estas fluctuaciones tienen directamente en la economía como conjunto.

En Chile la literatura también ha seguido un patrón similar, donde las fluctuaciones económicas producidas por el sector energético han sido relacionadas mayoritariamente a cambios en el precio del petróleo (por ejemplo Medina y Soto (2005) y Pincheria y García (2007)). No obstante ello, Agurto et al. (2013) indican que los precios de la energía eléctrica podrían tener significativos efectos sobre el ciclo económico chileno, situación asociada al atraso en la construcción de centrales eléctricas. En el presente artículo se avanza en entender cómo el precio de la energía eléctrica¹¹, y asociado a ella el de otro tipo de energéticos, como el carbón y en menor medida el gas natural¹², pueden ser relevantes en la explicación del ciclo económico chileno, sin perjuicio de la obvia importancia del petróleo. Cabe destacar que con esta clasificación se cubre alrededor del 93% de la matriz eléctrica de la economía chilena.

Esta investigación, ligada a la literatura antes descrita, aporta introduciendo los precios de la energía como variable exógena en un modelo DSGE, el cual representa una metodología estándar para el análisis del ciclo económico. El modelo tipo DSGE se ha modificado para incluir

⁷ Huntington(2005) y Henry y Stokes (2006)

⁸ Davis y Haltiwanger (2001) y Blanchard y Galí (2007).

⁹ Uri and Boyd (1997), Henry and Stokes (2006), Lysenko and Vinhas (2007), Oberndorfer (2009), Lutz y Bernd (2009), Choi et al. (2010), Yang et al. (2012),

¹⁰ Mohammadi (2009), He et al. (2010).

¹¹ Una descripción más detallada y exhaustiva acerca del mercado eléctrico chileno ver Tokman (2008), Galetovic y Muñoz (2009) y Fuentes (2013).

¹² En el caso de Chile, el 32.3% de la energía es generada usando carbón y gas -27.1% y 5.2% respectivamente. Por su parte, un 24.1% es generado usando petróleo, por lo que los costos de producir energía eléctrica están en la actualidad altamente influenciados por los precios del carbón y el petróleo (Balance Nacional de Energía 2011, CNE).

la energía en los principales sectores de la economía chilena: la industria, el comercio y el transporte. El sector minero no fue incluido por no existir información suficiente para realizar las estimaciones econométricas, las que fueron desarrolladas con econometría bayesiana. Por lo tanto, considerando esta restricción en la información disponible, las estimaciones obtenidas con el modelo DSGE son una cota inferior del impacto del precio de la energía sobre la economía.

No obstante las limitaciones de información antes mencionadas, el presente artículo evidencia que no solo los aumentos en el precio del petróleo son importantes para explicar el ciclo económico chileno, sino también los cambios en los precios de la energía eléctrica. Ligado a esta última, también son relevantes las fluctuaciones en otros precios (carbón y gas natural en menor medida), o la presencia de restricciones de oferta en el sector eléctrico asociadas al retraso en la construcción de centrales o la ocurrencia de años hidrológicamente secos.

El artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección 2 se revisan las características de los *shocks* recientes que han afectado a la economía chilena; en la sección 3 se presenta en términos generales el modelo DSGE, la metodología empleada y los detalles respecto a la forma en que se incluyó el sector energético; en la sección 4 se muestran los resultados de las estimaciones, para luego presentar las conclusiones en la sección 6.

1. Anatomía de los shocks energéticos recientes

1.1. Crisis del gas argentino

En 1995 Argentina comenzó a exportar gas natural hacia Chile, lo que significó una importante disminución de los precios de la energía eléctrica para todo tipo de clientes. Esta baja de precios, de US\$64 por MWh a US\$30 por MWh¹³, fue producto de los incentivos de mercado vigentes en ese momento en el país: la instalación de centrales de ciclo combinado a gas natural representaba la opción de desarrollo más eficiente para unidades de generación en base. Cabe mencionar que el mencionado proceso de inversiones se llevó a cabo en un contexto en el que se ignoraba cualquier posible interrupción futura del flujo de gas.

Los cortes de gas que comenzaron gradualmente el 2004, y que para el 2008 eran prácticamente totales, provocaron fuerte incertidumbre en el mercado de la generación. Esto detuvo proyectos de inversión a base de gas, y dificultó asimismo la realización de otros

¹³ Blümel et al. (2009).

proyectos de generación que usaban el insumo alternativo que se presentaba como el natural sustituto del gas: el carbón. Esta incertidumbre fue resuelta mediante una modificación legal, denominada Ley Corta II, que modificaba el mecanismo de contratos de las distribuidoras eléctricas con las generadoras, para efectos de proveer energía a los clientes regulados¹⁴.

En el contexto de la crisis del gas argentino, en el corto plazo se substituyó el gas natural por petróleo diésel, ya que muchas de las unidades generadoras poseían tecnologías duales, es decir, podían utilizar tanto gas natural como diésel. El resultado de esta reacción fue que a enero del 2008 en el Sistema Interconectado Central chileno el 34% de la matriz eléctrica operaba a base de diesel, comparado con el 2007, donde solo un 2% correspondía al uso de ese insumo (Blümel et al. 2009).

1.2. Alza de precios del carbón y petróleo

Los precios del petróleo y del carbón aumentaron considerablemente en la pasada década, afectando directamente los precios de la energía eléctrica, puesto que son utilizados como insumos para la generación. Es así como el petróleo aumentó 3,5 veces su precio desde el 2003 al 2008 (Davies y Sugden, 2010). Lo anterior se explica debido a una demanda internacional creciente por todo tipo de materias primas. Siguiendo la misma tendencia, el carbón también ha mostrado importantes aumentos de precio, impulsado por el desarrollo de China e India en generación eléctrica a base de carbón (Davies y Sugden, 2010) y por la zona Euro que se ha visto imposibilitada de seguir subsidiando energías alternativas después de la crisis financiera y fiscal que aqueja a este bloque económico. De hecho, entre el 2003 y el 2008 el precio del carbón subió hasta ocho veces su valor.

1.3. Retrasos en las inversiones del sector eléctrico

Siguiendo a Fuentes (2013), se constata que debido a los atrasos en los proyectos de instalación de centrales de base (hidroeléctricas y carbón), ocurrido en los últimos años en Chile, han entrado más turbinas diésel al sistema para cubrir las puntas de la demanda energética. Esto implica que además de que el petróleo ha aumentado de precio, su uso en generación está siendo más intensivo que el óptimo de un sistema adaptado, lo cual tiene un doble impacto en el precio de la energía eléctrica. Todo lo anterior lleva a un encarecimiento general del costo de esta

¹⁴ Ver, Fuentes (2013).

energía, manifestado en precios *spot* muy elevados y tendencia general al incremento en los precios de los contratos que las generadoras realizan tanto con las distribuidoras, para cubrir la demanda de los clientes regulados, como con los clientes libres, incluyendo la gran minería del cobre.

Para analizar el contexto antes descrito, Agurto et al. (2013) cuantifican los efectos de los atrasos en la construcción de centrales eléctricas sobre el PIB. Los *shocks* en este estudio son identificados como los atrasos en las inversiones de generación eléctrica que han caracterizado al sector en los últimos años. Al respecto se define como atraso aquella demora imputable a problemas políticos o a exceso de judicialización de los procesos de aprobación de una nueva central eléctrica. Comparando algunos escenarios, el resultado de esta investigación evidencia que el atraso de inversiones representaría para el país, entre el año 2012 y el 2019, una pérdida del Producto Interno Bruto de una magnitud cercana al 6%.

1.4. Sequías

La sequía significa aumentos de costos, puesto que en la medida que las centrales hidroeléctricas no dispongan de agua suficiente para generar, deberán entrar en operación otras centrales con mayores costos marginales. Así se van despachando, desde el menor costo marginal al mayor, hasta el punto que marginaliza el diésel, cuyo costos superan con frecuencia los 250 US\$ MW/h. El tema de las sequías es muy relevante en un sistema hidrotérmico como el chileno, en la medida en que parte significativa de la capacidad instalada es de naturaleza hidroeléctrica. En definitiva, la prevalencia de varios años con hidrología seca, unido al atraso de inversiones con tecnologías de base y el aumento en el precio del petróleo, representan un contexto de evidente aumento de precios en la generación eléctrica.

2. Metodología: modelo macroeconómico DSGE

El modelo macroeconómico, que es presentado en detalle en el Anexo A, es un DSGE estándar para el análisis del ciclo económico y la política macro (monetaria, fiscal, cambiaria, etc.). El objetivo de usar un DSGE en las mediciones del impacto de los precios de la energía es recurrir a una metodología que en los últimos años se ha transformado en un *benchmark*, tanto en la investigación académica como en el diseño de políticas económicas de los bancos centrales y gobiernos de diferentes países, incluido Chile. Por tanto, el uso de un DSGE permite analizar y

cuantificar en un formato típico los impactos de los precios de la energía. Para estos efectos se deberá primero establecer las modificaciones en el modelo para incorporar la energía, para luego medir los resultados de haber introducido estos cambios.

En términos esquemáticos, el modelo considera el siguiente grupo de agentes: las familias, que deciden consumo y ofrecen trabajo; las firmas, que definen la producción de bienes intermedios (trabajo, capital, insumos importados y petróleo); la producción de bienes de inversión y la extracción de *commodities*: los bancos privados, que ofrecen crédito para la producción de bienes de capital; la Política Económica, en que el Banco Central fija la tasa de interés y el Gobierno determina el gasto público; y el sector externo, que determina las importaciones de insumos importados, la importación de petróleo, los flujos de capitales (deuda externa) y las exportaciones de bienes intermedios y *commodities* (cobre).

El modelo DSGE supone dos tipos de consumidores: los “ricardianos” u optimizadores, que tienen acceso al mercado de capitales, y los restringidos, que financian su consumo con el ingreso del trabajo, neto de las transferencias del Gobierno. El objetivo de tener dos tipos de consumidores es que la tasa de interés afecta el consumo de los agentes ricardianos, mientras que las fluctuaciones de los ingresos laborales determinan el consumo de los agentes restringidos. Esto permite simulaciones más realistas al analizar qué sucede con los grupos más vulnerables de la sociedad frente a fluctuaciones en el ciclo económico.

En relación con la estructura productiva, existen tres tipos de firmas: las productoras de bienes intermedios (bienes ligados al sector industria y al comercio), las productoras de bienes de capital (maquinarias e infraestructura) y las extractoras de *commodities* (básicamente cobre). Las características de las dos primeras son las siguientes: (i) las empresas de bienes intermedios necesitan energía, insumos importados, capital y trabajo para producir sus bienes, los que son ofrecidos al mercado doméstico y de exportación; y (ii) las firmas productoras de bienes de capital financian sus nuevas inversiones con préstamos directos de los bancos privados, que a su vez reciben fondos desde las familias optimizadoras o no restringidas.

El modelo DSGE además considera una serie de supuestos sobre el funcionamiento de la economía, los cuales son estándares en la literatura de modelos que estudian fluctuaciones macroeconómicas (Gali, 2008), especialmente en lo que se refiere a formación de precios en el corto y mediano plazo. De hecho, se asume que una fracción de los precios de los bienes intermedios y los salarios se ajusta lentamente (Calvo 1983), donde una parte de este ajuste se supone producido por la indexación de esos precios a la inflación pasada. La otra fracción de

precio y salarios se determina óptimamente, es decir, es plenamente flexible. Con este supuesto de rigidez se consigue que la producción sea determinada por la demanda agregada en el corto plazo.

Asimismo, la política monetaria puede afectar la actividad económica para controlar la inflación. En efecto, un aumento de la tasa de interés debe reducir el gasto en consumo de los agentes ricardianos y la inversión privada. Puesto que los precios de los bienes intermedios son rígidos, la producción de estos bienes se contrae. Así, en conjunto con los salarios que son rígidos, la menor producción se traduce también en una menor demanda de trabajo, lo que hace caer el empleo y los salarios. Este último efecto más la caída en los precios de los bienes de inversión, por su menor gasto, hacen que los costos de producción de las firmas intermedias caiga y con ello la inflación.

En forma adicional a las rigideces nominales en precios y salarios, se supone una serie de rigideces “reales” estándares en este tipo de modelos, cuyo objetivo es producir rezagos en los ajustes que se observan en la economía después de que esta ha sido impactada por *shocks* externos, internos o de política económica. Por ejemplo, un aumento de la tasa de interés no reduce inmediatamente la inversión privada, sino que hay costos de ajustes asociados a la decisión de cambiar los planes de inversión. De manera similar, se han supuesto una serie de rezagos en las decisiones asociadas a la contratación de los diferentes insumos (capital, trabajo, energía e insumos importados).

Se introducen diferentes imperfecciones en el mercado de capitales, tema que se ha vuelto más contingente desde la crisis financiera internacional del 2008-10: primero, restricciones de crédito a un grupo de las familias (consumidores restringidos); segundo, una oferta no completamente elástica por fondos externos (premio por riesgo país); y tercero, los bancos privados también restringen el crédito privado dependiendo de las condiciones actuales y esperadas del ciclo económico (Gertler y Karadi, 2011). El objetivo último de la introducción de este aspecto es capturar el comportamiento del sector financiero observado a lo largo del ciclo económico y sus efectos en la evolución de la actividad económica.

El sector externo en el modelo es determinado por cuatro elementos clave: la actividad externa, el precio internacional de los *commodities*, la actividad interna de la economía y el tipo de cambio real. En este contexto, un aumento de la actividad externa produce una expansión de la demanda por nuestras exportaciones de bienes intermedios. De manera similar, un aumento de la actividad interna ocasiona que la demanda de insumos internos también aumente. Además, un

aumento del precio de los *commodities* eleva los ingresos del país. En todos estos efectos el tipo de cambio real juega un papel clave. Al respecto se supone que se cumple en forma parcial la paridad no cubierta de tasas de interés¹⁵. En otras palabras, el tipo de cambio se determina por la diferencial de tasas de interés entre Chile y el resto del mundo. Con todo, las fluctuaciones del tipo de cambio tienen importantes efectos en la demanda externa por nuestros productos intermedios, los ingresos en pesos de las exportaciones de *commodities* y finalmente en la demanda de insumos importados.

El Banco Central es modelado a través de una regla de política monetaria simple y que simula su comportamiento observado. De este modo, se asume que este sigue una regla que fija la tasa de interés en función de la inflación, la brecha del producto y el tipo de cambio real. Por último, el gasto del Gobierno es modelado por una regla que lo fija en función de los ingresos tributarios estructurales de la economía, es decir, impuestos e ingresos del cobre. Solo por simplicidad se considera que los impuestos son *lump-sum*, supuesto que no afecta sustancialmente los ejercicios que se realizan en este estudio.

2.1. Cambios al modelo macroeconómico: introducción de la energía

Las principales modificaciones a la metodología estándar de los modelos DSGE¹⁶ es que la energía eléctrica es introducida como un insumo básico en la producción de bienes intermedios y además se restringen los parámetros del modelo a que aumentos del precio de la energía eléctrica produzcan efectos contractivos en el empleo en el corto plazo.

Específicamente, el sector eléctrico es incorporado en la función representativa de producción de bienes industriales¹⁷, intermedios o semielaborados de la economía, como es descrito en García et al. (2013)¹⁸. En este contexto, se usará una función de producción estándar

¹⁵ Se asume que este mecanismo funciona con rezagos y que además existe una prima por riesgo país. En consecuencia, la tasa de interés externa relevante para la economía chilena es más alta que la tasa de interés de los mercados internacionales (LIBOR). En términos específicos, en el modelo se supone que esa prima depende de la razón entre la deuda externa y el PIB, como medida de endeudamiento, y por tanto de la exposición de la economía al financiamiento externo.

¹⁶ Un detalle de todas las ecuaciones incluidas en el modelo utilizado en el presente trabajo se encuentra en Agurto et al. (2013).

¹⁷ Acurio Vasconez et al. (2012) y Gavin y Keen (2013) usan una estrategia similar para introducir energía en modelos DSGE. Una forma alternativa propone Sánchez (2011), quien supone que el uso de capital requiere de energía.

¹⁸ Este tipo de bienes engloba en forma general a sectores como la industria, el agrícola semiindustrial (fruta y vino, por ejemplo) y el comercio.

(Cobb-Douglas) que es ampliada para incorporar energía (petróleo y energía eléctrica), además de capital, trabajo e insumos importados:

$$Y_t = A_t L_t^{\alpha_1} (\xi_t K_t)^{\alpha_2} M_t^{\alpha_3} MOIL_t^{\alpha_4} EE_t^{1-\alpha_1-\alpha_2-\alpha_3-\alpha_4} \quad (1)$$

Donde Y es producción, A nivel de tecnología, L empleo, K stock de capital, M insumos importados, $MOIL$ petróleo y EE energía eléctrica. Los parámetros α 's son las participaciones de cada insumo en la producción del bien intermedio. Con esta formulación se pueden calcular los costos unitarios de producción del sector intermedio:

$$CU_t = \left(\frac{1}{A_t} \right) W_t^{\alpha_1} (\xi_t Z_t)^{\alpha_2} (SX_t P_t^*)^{\alpha_3} (SX_t POIL_t)^{\alpha_4} PE_t^{1-\alpha_1-\alpha_2-\alpha_3-\alpha_4} \quad (2)$$

Donde CU son los costos unitarios de producción, W son salarios, Z es el precio de arrendamiento del capital, SX es el tipo de cambio nominal, P^* es el precio de los insumos importados en dólares, $POIL$ es el precio internacional del petróleo en dólares y PE es el precio de la energía eléctrica.

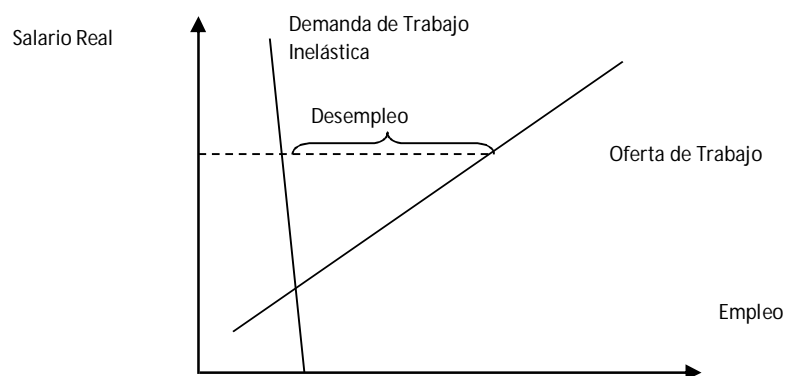
El efecto inmediato de este primer cambio en la función de producción es explicitar el mecanismo básico de transmisión de un *shock* de oferta (Galí, 2008). Es decir, un mayor precio de la energía a nivel agregado produce un aumento directo sobre los costos unitarios de las empresas (CU) productoras de bienes intermedios y con ello se traspaasa directamente a la tasa de inflación de estos bienes. Esto se observa en la ecuación (2), en la medida en que un aumento de PE , dependiendo de $(1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)$, impacta directamente en los CU .

Sin embargo, el impacto final sobre la economía de un cambio en el precio de la energía es más complejo y depende básicamente de tres aspectos clave incluidos en el modelo DSGE:

- i) El grado de sustitución entre energía y los otros insumos de producción. La ecuación donde se describe la función de producción Cobb Douglas, asume implícitamente que esta elasticidad de sustitución es un valor estándar en el análisis macroeconómico de fluctuaciones macroeconómicas.
- ii) El grado de flexibilidad laboral. En caso que los salarios sean muy rígidos, el *shock* energético negativo tendrá un importante impacto en el empleo agregado de la economía.
- iii) La respuesta del Banco Central a la mayor inflación. Si los aumentos del precio de la energía se traspaasan rápidamente a inflación, esto tendrá un efecto contractivo sobre la economía en caso que el Banco Central decida subir su tasa de interés.

A priori se espera que un aumento del precio de la energía tenga primero un efecto inflacionario, porque los costos de producción serán más altos y, segundo, produzca una contracción del PIB (y también del empleo). El primero de estos efectos se obtiene directamente de la expresión (2), donde se observa una relación positiva entre los costos unitarios y el precio de la energía. Por su parte, el segundo efecto es más complejo de conseguir, puesto que al subir el precio de la energía el insumo trabajo se hace relativamente más barato que la energía eléctrica y, por ende, en caso de que no se modele correctamente la sustitución entre insumos, podría ocurrir incluso que el empleo subiera en vez de caer, lo cual es contradictorio con la evidencia¹⁹, además de ser un resultado claramente contraintuitivo. En consecuencia, para evitar este resultado se debe reducir la elasticidad de sustitución entre insumos en el corto plazo, decisión que se sustenta en evidencia empírica²⁰. De esta manera, el modelo entregará como resultado la magnitud del efecto sobre el empleo, ya que el signo del cambio se conoce de antemano.

Figura 1
Mercado del Trabajo



Fuente: Agurto et al. (2013)

Consistente con lo indicado, si se considera que lo razonable es que el empleo caiga, entonces el efecto que debe predominar en corto plazo es la caída de la demanda por los bienes intermedios, y no los cambios en el salario real. Para conseguir este resultado el modelo debe tener dos ingredientes. Primero, se debe suponer una demanda por trabajo casi completamente

¹⁹ Evidencia respecto a que los *shocks* energéticos provocan recesión, y por tanto no aumentan el empleo, se puede encontrar en Davis y Haltiwanger (2001), Brown y Yucel (2002), y Hamilton (2010).

²⁰ Evidencia en relación con que la elasticidad de sustitución entre empleo y energía es baja, se puede encontrar en Hamermesh (1993).

inelástica al salario real, con lo cual se evita que paradójicamente aumentos del precio de la energía beneficien al empleo. Segundo, se necesita el supuesto de un salario rígido por sobre el equilibrio, lo que además de permitir la existencia de desempleo en el modelo, posibilita que contracciones de la demanda de trabajo produzcan más desempleo (ver Figura 1).

Puesto que es vital la modelación de la demanda por insumos para entender el impacto del precio de la energía eléctrica sobre la economía, se asume una forma flexible de estas demandas en el corto plazo:

$$insumo_j = pmg_insumo_j (y + a - \theta_j \text{ precio real insumo}_j) + (1 - pmg_insumo_j) insumo_j \quad (3)$$

De esta manera, la demanda por $insumo_j$ expresada en logaritmo sigue dependiendo positivamente del nivel de actividad y del nivel de productividad a , mientras depende negativamente del precio del insumo expresado en términos reales, al cual llamamos $\text{precio real insumo}_j$. No obstante, con el objetivo de tener una modelación más flexible y permitir elasticidades de sustitución menores a uno en el corto plazo, se introdujo un parámetro $\theta_j < 1$ que reduce la reacción de la demanda de cada insumo a los cambios del precio real. Además, para imponer más inercia en las decisiones productivas de la empresa, se adicionó el parámetro $0 < pmg_insumo_j < 1$, con lo cual los niveles pasados de contratación de insumos siguen afectando las decisiones presentes. Evidentemente, si se impone que $\theta_j = 1$ y $pmg_insumo_j = 1$, entonces la elasticidad de sustitución es uno y no existe inercia en la contratación de insumo. En este caso se vuelve a un escenario de perfecta flexibilidad en el uso de insumo por parte de la firma productora de bienes intermedios.

Otra forma de entender (3) es la demostración de Berger et al. (2014), quienes demuestran que este supuesto es equivalente a suponer un modelo microeconómico para la firma de ajuste "lumpy" en la contratación de insumos. Una aplicación reciente para Chile sobre esta metodología se encuentra en Aburto et al. (2014).

2.2. Energía eléctrica versus petróleo

La otra fuente de energía en el modelo es el petróleo, insumo que se introdujo en dos partes: primero, directamente en la ecuación (1), como un insumo más en la producción de bienes intermedios ($MOIL_i$); segundo, como un insumo en la distribución de los bienes intermedios

$(TOIL_t)^{21}$, lo que supone que para que estos sean consumidos o invertidos deben ser previamente transportados ocupando petróleo, como se observa en la ecuación (4).

$$Y_t^F = (Y_t)^{\alpha^P} (TOIL_t)^{1-\alpha^P} \quad (4)$$

A diferencia de la energía eléctrica, un aumento del precio petróleo tiene dos canales de transmisión que impactan a la economía. Su efecto negativo directo sobre la producción de bienes intermedios (canal común con la energía eléctrica), y adicionalmente el encarecimiento de estos bienes por el aumento de los costos de transporte.

2.3. Ley de movimiento de los *shocks* de los precios de la energía

Con el objeto de incorporar el hecho de que la energía eléctrica también se produce bajo ciertas circunstancias con petróleo, suponemos que el precio de la energía eléctrica depende también del precio del petróleo (ver ecuación (5) y (6)). En efecto, cuando no hay disponible energía eléctrica generada por agua se va despachando energía de otras fuentes (carbón, gas y diésel), desde el menor al mayor costo marginal, hasta el punto que marginaliza el diésel, contexto en que el precio del mercado *spot* supera con frecuencia los 250 US\$ MW/h (Fuentes, 2013). La presente modelación se abstrae de estos cambios discretos solo por simplicidad, suponiendo que en promedio un aumento del precio del petróleo tiene un efecto positivo y continuo sobre el precio de la energía eléctrica (lo cual es efectivo como tendencia):

$$P_t^E = \alpha_0 P_{t-1}^E + \alpha_1 P_t^{OIL} + \mu^E \quad (5)$$

$$P_t^{OIL} = \beta_0 P_{t-1}^{OIL} + \mu^P \quad (6)$$

Donde P_t^E y P_t^{OIL} son los precios de la energía eléctrica y el petróleo. Por su parte, μ^E y μ^P son los *shocks* al precio de la energía eléctrica y al precio del petróleo, respectivamente. De esta manera, un *shock* en el precio del petróleo también afecta el precio de la energía eléctrica, pero no viceversa.

²¹ Una alternativa es introducir este tipo de energía como un bien de consumo adicional (Gavin y Keen, 2013).

3. Resultados

Calibración y estimación del modelo macroeconómico

La estrategia de estimación²² del modelo macro consideró dos partes. Una primera, en que se calibran²³ aquellos parámetros relacionados con el estado estacionario, y una segunda, en que se estiman solo los parámetros relacionados con la dinámica del modelo. En la calibración se replicó el estado estacionario o equilibrio de largo plazo de la economía chilena, medido por ejemplo por razones tales como consumo a PIB, inversión a PIB o gasto de gobierno a PIB.

En el proceso de calibración es clave obtener los valores para los parámetros de la función de producción de bienes intermedios (ecuación (1)). Estos parámetros representan las participaciones de cada uno de los insumos sobre la producción bruta de bienes intermedios. En la calibración de estos parámetros se utilizó información proveniente de la matriz insumo-producto del 2008 y de las importaciones de petróleo del Banco Central de Chile. Los resultados de la calibración se muestran en la Tabla 1, en que la participación de la energía eléctrica en la producción bruta de bienes intermedios resultó ser de 3%²⁴.

Tabla 1
Participación de los Insumos en la Producción Bruta

Parámetros	Participación
Trabajo	0,39
Capital	0,35
Energía	0,05
Insumos Importados	0,21

Fuente: Cálculo de los autores en base a información del BCCh.

²² La estimación con econometría bayesiana supone establecer prior sobre los parámetros (valores a priori) y luego a través de técnicas econométricas estándares (máxima verosimilitud) obtener los posteriores o estimaciones finales An y Schorfheide (2007).

²³ Esto es equivalente a un prior con probabilidad uno.

²⁴ Para poder calibrar la ecuación (1) se debe conocer además qué porcentaje del petróleo importado por la economía chilena es para la producción de bienes e intermedios y cual es utilizado en transporte. Para obtener estos porcentajes se utilizó la matriz energética publicada por la CNE del 2009, la cual indica que el 24% del petróleo es para la industria como insumo directo y el resto se ocupa en el sector transporte. Por último, los parámetros de la ecuación (4) fueron calibrados para replicar el estado estacionario de la economía chilena.

La calibración del modelo produce el siguiente estado estacionario o equilibrio de largo plazo, que es coherente con la información disponible para la economía chilena (ver Tabla 2)²⁵.

Tabla 2
Estado Estacionario del Modelo DSGE

Estado Estacionario	Razón sobre PIB
Consumo	0.62
Inversión	0.22
Exportaciones no RRNN	0.34
Importaciones de insumos	0.31
Gasto del Gobierno	0.10
Deuda Externa	0.34
Exportaciones de RRNN(Cobre)	0.08

Fuente: Cálculo de los autores a base del modelo DSGE.

La estimación²⁶ del modelo con técnicas bayesianas se basó en la definición de una distribución *prior* (basado en la teoría económica y estudios previos para la economía chilena²⁷) para los parámetros, para luego aplicar técnicas estándar de econometría para modelos macroeconómicos, maximizando una función de máxima verosimilitud. Esta técnica econométrica mejora las estimaciones de los parámetros, en especial si se cuenta con una base de datos limitada. Además, facilita la superación de problemas relacionados con la calidad de los datos que pudieran sesgar los parámetros hacia resultados sin sentido económico, lo que podría ocurrir con técnicas econométricas más estándares (por ejemplo ML, máxima verosimilitud, y MM, método de los momentos) que tienden a producir un sobreajuste del modelo al tratar de maximizar la probabilidad de generar la muestra.

La muestra utilizada en las estimaciones es trimestral (2002-2012 hasta 2011-2013). Los datos son introducidos como tasas de crecimiento trimestrales (multiplicadas por 100), a excepción de las tasas de interés. Todas las tasas son divididas por cuatro para ser expresadas en términos trimestrales y no anuales.

²⁵ Se puede corroborar la consistencia de los datos del estado estacionario en Restrepo y Soto (2006).

²⁶ Los *priors* de los parámetros estimados fueron tomados de la literatura tradicional de modelos macros, para los detalles ver Agurto et al. (2013). Los posteriores resultantes fueron obtenidos usando el algoritmo de Metropolis-Hastings basado en una cadena de Markov de 25.000 réplicas para construir la distribución estimada de los parámetros (posteriores). Al respecto se observa que las estimaciones del modelo macro logran una convergencia aceptable después de 25.000 réplicas.

²⁷ Una discusión exhaustiva sobre los *priors* usado en este estudio se encuentra en García et al. (2013).

Es importante notar que debido a que en el modelo macroeconómico se representa un sector productivo cuya actividad está relacionada con el precio del insumo electricidad (sector industrial y minero no-cobre) y considerando la estructura de consumos del Sistema Interconectado Central, se ha decidido representar el precio de la electricidad como el Precio Medio de Clientes Libres (PMCL) de dicho sistema. El PMCL en un instante del tiempo corresponde a un promedio de contratos vigentes antiguos y contratos nuevos (por vencimiento de los antiguos o nuevas demandas). En consecuencia, este valor presenta una evolución suave a lo largo del tiempo, aunque tiene la dificultad de que su estructura y fechas de vencimiento de contratos no son conocidas. Por otro lado, el precio del petróleo fue el WTI en dólares.

Las estimación de los parámetros entrega valores en general similares a los valores hallados en otros estudios²⁸ (Agurto et al., 2013; García y González, 2013 y García et al., 2013). Los parámetros relevantes para medir el impacto de los precios de la energía sobre la economía se muestran en la Tabla 3. Además, las pruebas estadísticas indican que las simulaciones realizadas para calcular los parámetros tienden en general a entregar valores de los parámetros que convergen (Gráfico B.1, en Anexo B).

El crecimiento del precio de la energía eléctrica es sumamente volátil ($Err_PEE_1 = 8,2\%$), pero el crecimiento del petróleo muestra una volatilidad aún mayor, llegando a casi ser al doble ($Err_OIL = 16,7\%$). Además, se puede ver la alta persistencia de ambos *shocks* ($\rho_PEE_1 = 0.85$; $\rho_OIL = 0.84$). Ambas restricciones son consistentes con la evidencia econométrica de series de tiempo tradicional, la que indica una alta persistencia en los niveles del precio de las energías.

Se observa también la existencia de un efecto cruzado dado por $PEE_P_1_OIL$ (α_1 en la ecuación (5)). Este es un valor pequeño pero positivo (0,099) del efecto contemporáneo del precio del petróleo en el precio de la energía eléctrica.

Los parámetros pmg_s y θ_s miden la sensibilidad de las demandas de cada insumo en el corto plazo. Como explicábamos en la sección anterior, lo estándar en la literatura que analiza las fluctuaciones cíclicas a nivel macroeconómico es que la elasticidad de sustitución entre insumos sea uno (i.e. que la suma de los θ_s sea igual a uno). Sin embargo, en el presente trabajo se restringieron los valores de los pmg_s a magnitudes menores que uno, para introducir rezagos en las decisiones de contratación de insumos. Al observar los resultados en la Tabla 3,

²⁸ Todos los parámetros de la estimación se presentan en Anexo A.1

se confirma la existencia de rezagos en las decisiones de contratación de insumos, fluctuando sus valores entre 0,27 y 0,66.

Como se explicó en la sección anterior, se debe poner especial cuidado a la hora de modelar el mercado del trabajo. Siguiendo a Agurto et al. (2013), se restringió el *prior* a que el parámetro θ_L tomara valores muy pequeños. Puntualmente, se impuso el supuesto de una demanda casi completamente inelástica a los salarios reales en el corto plazo, para lograr que los aumentos de precio de energía produzcan disminuciones en el empleo en lugar de erróneamente aumentarlo. Las estimaciones confirman estos bajos valores.

Tabla 3

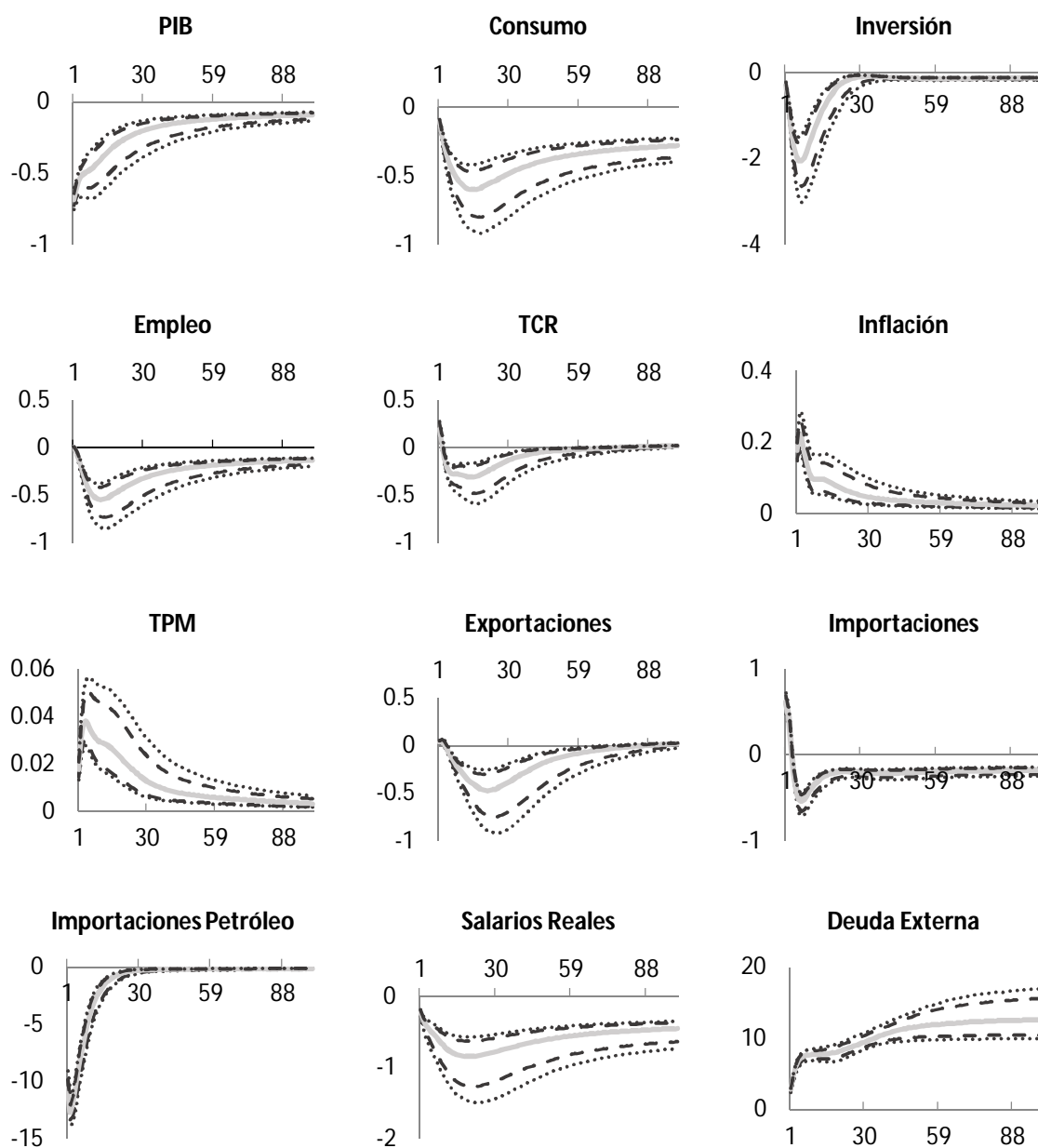
Parámetros Relacionados con el Impacto del Precio de la Energía Eléctrica y Petróleo

Parámetros	Prior	Posterior	Intervalo de confianza 90%		Distribución	Desviación Estándar
rho_Oil	0,9	0,8377	0,8026	0,872	beta	0,05
rho_PEE_1	0,9	0,8499	0,7843	0,9164	beta	0,05
PEE_P_1_OIL	0,5	0,0996	0,0325	0,1689	beta	0,2
pmg_M	0,5	0,5944	0,5431	0,6549	beta	0,1
pmg_L	0,5	0,2744	0,2298	0,3197	beta	0,1
pmg_K	0,5	0,4862	0,397	0,592	beta	0,1
pmg_MOIL	0,5	0,6625	0,5988	0,7316	beta	0,1
pmg_EE	0,5	0,4773	0,407	0,5378	beta	0,1
theta_TOIL	0,1	0,0957	0,0881	0,104	beta	0,01
theta_L	0,05	0,0577	0,0512	0,0634	beta	0,01
pmg_TOIL	0,5	0,451	0,3983	0,4972	beta	0,05
Err_Oil	14,36	16,7971	14,0326	18,4745	invg2	Inf
Err_PEE_1	7,002	8,195	6,4655	9,7221	invg2	Inf

Fuente: Cálculo de los autores.

Los impulsos respuestas indican que *shocks* en el precio de la energía (Gráfico 1 y Gráfico 2) producen la siguiente serie de eventos. El primer impacto es de un incremento de los costos marginales reales de producción de bienes intermedios, que aumentan la inflación y reducen la producción (PIB), lo cual es el resultado común de un *shock* de oferta, es decir, contracción de la economía con más inflación.

Gráfico 1
Shock del Precio del Petróleo

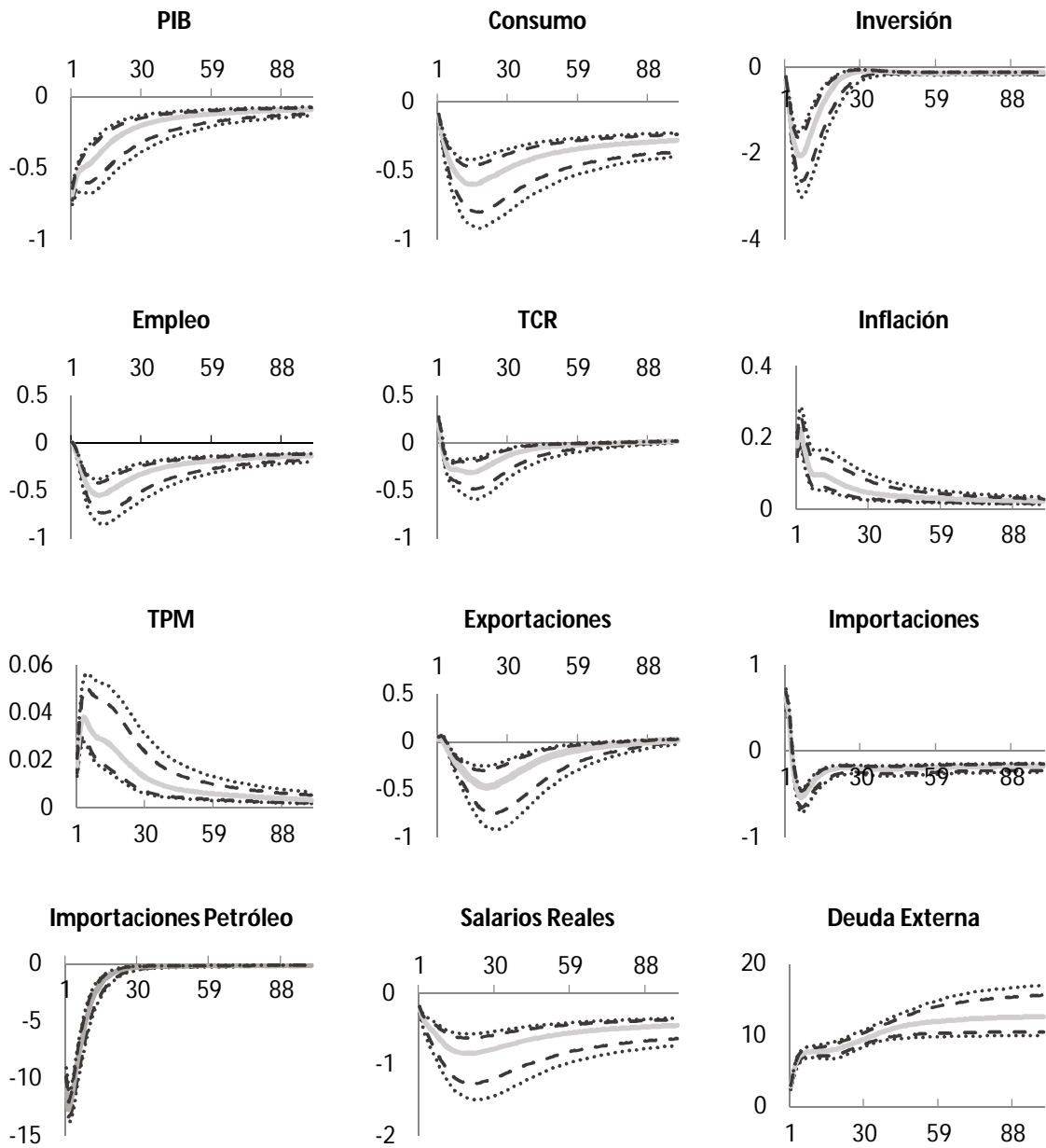


Nota: Bandas de confianza: línea punteada 80%, línea discontinua 90%.

Fuente: Cálculos realizados por los autores.

Gráfico 2

Shock del Precio de la Energía Eléctrica



Nota: Bandas de confianza: línea punteada 80%, línea discontinua 90%.

Fuente: Cálculos realizados por los autores.

En seguida, la menor producción y la baja elasticidad de la demanda de trabajo a los salarios reales, que caen, producen en conjunto una reducción del empleo. El menor empleo afecta asimismo el consumo de los agentes restringidos, es decir, aquellas familias que no pueden suavizar su consumo porque no tienen acceso al mercado del crédito, y por tanto este depende de sus ingresos laborales. Como resultado el consumo agregado cae.

La inversión cae de modo significativo, esencialmente por las malas expectativas de la economía. Por otro lado, la reacción del Banco Central es aumentar la tasa de interés. El comportamiento del tipo de cambio real depende del tipo de *shock*; en el caso de un *shock* del petróleo este sube inicialmente y luego cae; en cambio el caso del *shock* de energía eléctrica cae inmediatamente. Con todo, las exportaciones de bienes intermedios caen también. En otras palabras, el aumento del precio de la energía produce pérdida de competitividad. Además, el aumento del precio de la energía eléctrica en el modelo produce sustitución de insumos hacia petróleo e insumos importados, mientras un *shock* del precio del petróleo reduce las importaciones de este insumo.

En resumen, la Tabla 4 entrega las elasticidades de un conjunto de las variables de interés a ambos *shocks*. Esta elasticidad mide el cambio acumulado de la variable x a un cambio en el precio de la energía para diferentes años, es decir, se calculó como $\eta = \frac{\sum \text{variable } x}{\sum \text{shock precio de la energía}}$. La elasticidad entre uno y dos años mide el impacto de corto plazo; en cambio la elasticidad a 10 años mide el impacto en el largo plazo del precio de la energía sobre diferentes variables macroeconómicas. La Tabla 4 ilustra el principal resultado de este artículo; los impactos del precio de la energía eléctrica en el PIB por si solo son aproximadamente la mitad del impacto del precio del petróleo (incluido su efecto en la generación de energía eléctrica).

Tabla 4

Resumen de Elasticidades Modelo DSGE

A. *Shock* Precio Energía Eléctrica

Años	PIB	C	I	L	TCR	Inflación
1	-0,017	-0,013	-0,069	-0,007	-0,018	0,008
2	-0,025	-0,023	-0,114	-0,021	-0,028	0,009
3	-0,031	-0,034	-0,134	-0,033	-0,036	0,010
4	-0,037	-0,045	-0,139	-0,044	-0,044	0,011
5	-0,041	-0,054	-0,138	-0,053	-0,050	0,012
10	-0,058	-0,092	-0,130	-0,083	-0,067	0,015

B. *Shock* Precio del Petróleo

Años	PIB	C	I	L	TCR	Inflación
1	-0,050	-0,028	-0,130	-0,015	-0,011	0,017
2	-0,063	-0,049	-0,209	-0,037	-0,025	0,017
3	-0,076	-0,072	-0,254	-0,060	-0,037	0,020
4	-0,088	-0,097	-0,279	-0,082	-0,050	0,023
5	-0,099	-0,122	-0,292	-0,102	-0,061	0,025
10	-0,145	-0,234	-0,315	-0,176	-0,090	0,036

Fuente: Cálculo de los autores a base del Modelo DSGE.

La Tabla 5 muestra elasticidades para el PIB y la inflación encontradas en otros estudios en Chile y otros países. Se puede observar que a pesar de existir una gran varianza en las cifras, los resultados del presente trabajo son similares, en especial para el corto plazo, tanto para las elasticidades del precio del petróleo y de la electricidad. En otras palabras, los efectos de los precios de la energía sobre el ciclo económico chileno encontrada en este estudio son consistentes con la evidencia internacional.

Tabla 5
Elasticidades Evidencia Internacional

Petróleo					
Variables	EEUU	Euro Zona	China	Japón	Chile
PIB	-0,05 ⁽⁵⁾	-0,02 ⁽⁵⁾ & -0,004 ⁽⁹⁾	-0,38 ⁽⁷⁾	-0,191 ⁽⁶⁾	-0,038 ⁽³⁾
Inflación	0,014 ⁽²⁾	0,02 ⁽⁹⁾	0,0491 ⁽⁸⁾	0,004 ⁽²⁾	0,017 ⁽²⁾ & 0,03 ⁽³⁾

Electricidad					
Variables	EEUU	Euro Zona	China	Japón	Chile
PIB	na	na	-0,024 ⁽¹⁰⁾	na	-0,02 ⁽⁴⁾ & -0,017 ⁽¹⁾
Inflación	na	na	0,06 ⁽¹⁰⁾	na	na

Fuente y Notas:	Tipo de elasticidad
(1) García (2012)	corto plazo (dos años)
(2) García y Pincheira (2007)	corto plazo (dos años)
(3) Medina y Soto (2005)	corto plazo (un año)
(4) Blumel et al. (2009)	largo plazo
(5) Jiménez-Rodríguez y Sánchez (2005)	corto plazo (dos años)
(6) Darby (1982)	largo plazo
(7) Tang et al. (2010)	corto plazo (dos años)
(8) Wu et al. (2011)	corto plazo (dos años)
(9) Forni et al. (2012)	corto plazo (un año)
(10) He et al. (2010)	corto plazo (dos años)

En relación con la contribución de los *shocks* en el precio de la energía en la volatilidad del ciclo económico, se observa que estos tienen efectos moderados en relación con otros *shocks*. Así, la Tabla 6 muestra la descomposición de varianza por *shock* para diferentes horizontes, donde se puede observar que los *shocks* de productividad, los financieros y los accionarios dominan la volatilidad del PIB. Sin embargo, los *shocks* de los precios de la energía, petróleo primero y luego los de electricidad, si bien tienen participaciones pequeñas, son comparables a

otros *shocks* tan relevantes en el análisis del ciclo económico como los monetarios, fiscales o del precio del cobre.

Tabla 6
Descomposición de Varianza del PIB por *Shock*
Trimestres

Shocks	1	4	8	12	16	20
Consumo	2,50	1,25	0,79	0,60	0,49	0,42
Monetario	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
Inflación	0,00	0,07	0,22	0,21	0,18	0,16
Inversión	2,16	4,45	3,93	3,43	3,13	2,92
Gasto Público	0,54	0,47	0,31	0,23	0,19	0,17
Exportaciones	3,29	5,78	5,43	4,93	4,56	4,27
Importaciones	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
TCR	3,29	1,48	0,92	0,69	0,57	0,50
Accionario	0,50	6,65	15,89	21,29	24,77	27,14
Salario	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Empleo	2,30	2,10	1,60	1,30	1,10	0,97
Tasa Externa	0,21	0,39	0,50	0,55	0,55	0,54
PIB Externo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Precio Cobre	4,64	4,67	3,36	2,59	2,14	1,86
Precio Petróleo	4,88	6,69	7,00	6,95	6,72	6,45
Productividad	45,65	45,62	38,79	33,34	29,20	26,24
Financiero	0,62	5,27	11,20	16,14	19,93	22,72
Precio Energía						
Eléctrica	0,04	0,16	0,24	0,27	0,27	0,26
Producción Cobre	2,72	3,23	2,61	2,11	1,78	1,56
PIB	26,53	11,61	7,12	5,31	4,36	3,77
Desempleo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	100	100	100	100	100	100

Fuente: Cálculo de los autores a base del modelo DSGE.

4. Conclusiones

En este artículo se cuantifica el impacto de los *shocks* del precio de la energía sobre el ciclo económico de la economía chilena en la última década. El principal resultado es que no solo los *shocks* del petróleo han sido relevantes a nivel macroeconómico durante estos años, sino también los *shocks* de la energía en general expresada en los precios eléctricos, los cuales dependen del precio del carbón, del gas natural en menor medida y de otros fenómenos que también afectan

a la oferta eléctrica, como las sequías o los retrasos en la construcción de nuevas plantas generadoras.

En términos cuantitativos, las elasticidades del precio del petróleo sobre el PIB son de -0,05 y -0.145 en el corto y largo plazo, respectivamente. En el caso de la inflación, las elasticidades del petróleo son de 0,017 y 0.036 en el corto y largo plazo, respectivamente. Por otro lado, las elasticidades del precio de la energía eléctrica son aproximadamente la mitad de las elasticidades del precio del petróleo; para el PIB -0,017 y -0,058, en el corto y largo plazo; para la inflación 0,008 y 0,036 en el corto y largo plazo, respectivamente. También es interesante destacar que la contribución de los *shocks* de precio de la energía en la volatilidad del ciclo económico es similar a la contribución de *shocks* tradicionales, como los monetarios, fiscales o del precio del cobre. Sin embargo, mayoritariamente la volatilidad del PIB depende de *shocks* productivos y de carácter financieros, en la última década.

Es importante relevar que las magnitudes encontradas (elasticidades) son similares a las obtenidas en estudios internacionales, con lo cual se realza la significancia de estos *shocks* energéticos en la explicación del ciclo económico chileno, complementando lo tradicionalmente considerados por los economistas, como los monetarios, fiscales, los tecnológicos, entre otros.

Referencias

- ACURIO, V., GIRAUD, G., MC ISAAC, F., PHAM, N. S., 2012, "Energy and Capital in a New-Keynesian Framework". Documents de travail du Centre d'Economie de la Sorbonne, Université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), Centre d'Economie de la Sorbonne, <http://EconPapers.repec.org/RePEc:mse:cesdoc:12092>.
- AGURTO, R., FUENTES, F., GARCÍA, C.J., Y SKOKNIC, E., 2013, Impacto Macroeconómico del Retraso en las Inversiones de Generación Eléctrica en Chile, ILADES Universidad Alberto Hurtado, Documento de Trabajo I-288.
- ÁLVAREZ, R., GARCÍA, A., GARCÍA, P., 2008, "Shocks de Energía y Productividad en la Industria Manufacturera Chilena". Seminarios de Macroeconomía y Finanzas del Banco Central (Julio).
- AN, SUNGBAE, SCHORFHEIDE, FRANK, 2007, "Bayesian Analysis of DSGE Models". *Econometric Reviews*, Taylor and Francis Journals, vol. 26(2-4), pages 113-172. <https://ideas.repec.org/p/cpr/ceprdp/5207.html>.
- ASAFU-ADJAYE, J., 2000, "The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries". *Energy Economics*, Volume 22, Issue 6, December 2000, Pages 615-625, ISSN 0140-9883.
- BARRO, R.J., 1984, *Macroeconomics*. New York: John Wiley & Sons.
- BERGER, D., R. CABALLERO, E. ENGEL, 2014, "Missing aggregate dynamics: on the slow convergence of lumpy adjustment models". Mimeo.
- BERK, I., YETKINER, H., 2013, "Energy Prices and Economic Growth: Theory and Evidence in the Long Run". Working Papers 1303, Izmir University of Economics.
- BLANCHARD, O.J., GALÍ, J., 2007, "The macroeconomic effects of oil price *shocks*: Why are the 2000s so different from the 1970s?". *Economics Working Papers* 1045, Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra, revised Oct 2008.
- BLÜMEL, G.F., ESPINOZA, R.A., DOMPER, M., 2009, "Crecimiento Económico, Precios de la Energía e Innovación Tecnológica". *Libertad y Desarrollo*, Santiago, Chile.
- BROWN, S.P.A., YÜCEL, M.K., 2002, "Energy Prices and Aggregate Economic Activity: An Interpretative Survey". *The Quarterly Review of Economics and Finance*: Volume 42, Issue 2, Pages 193-208.

BROWN, S.P.A., YÜCEL, M.K., 1999, "Oil prices and U.S. aggregate economic activity: a question of neutrality". *Economic and Financial Review*, Federal Reserve Bank of Dallas, Second Quarter: 16-23.

BROWN, S.P.A., YÜCEL, M.K., 1995, "Energy prices and state economic performance". *Economic and Financial Policy Review*.

CALVO, G.A., 1983, "Staggered prices in a utility-maximizing framework". *Journal of Monetary Economics*, Elsevier, vol. 12(3), pages 383-398, September.
<http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic500592.files/calvo.pdf>.

CHOI, J., BAKSHI, B.R., HAAB, T., 2010, "Effects of a carbon price in the U.S. on economic sectors, resource use, and emissions: An input-output approach". *Energy Policy*, Elsevier, vol. 38(7), pages 3.527-3.536, July.

CHRISTIANO, L.J., EICHENBAUM M., EVANS, C.L., 2005, "Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a *Shock* to Monetary Policy". *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 113(1), pages 1-45, February.
<http://benoitmojon.com/pdf/Christiano%20%20Eichenbaum%20Evans%202005%20JPE.pdf>.

DARBY, M.R., 1982, "The Price of Oil and World Inflation and Recession". *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 72(4), pages 738-51, September.

DAVIES, M., SUGDEN, C., 2010, "Macroeconomic Impacts of Energy Prices in the Pacific". International Monetary Fund, PFTAC Regional Papers.

DAVIS, S.J., HALTIWANGER, J., 2001, "Sectoral Job Creation and Destruction Responses to Oil Price Changes". *Journal of Monetary Economic (Enero)*: Vol. 48,465-512, Inc.
http://econweb.umd.edu/~haltiwan/davis_haltiwanger_01.pdf.

DICKMAN, A., HOLLOWAY J., 2004, "Oil market developments and macroeconomic implications". *Bulletin*, October 2004, Reserve Bank of Australia.

FORNI, L., GERALI, A., NOTARPIETRO, A., PISANI, M., 2012, "Euro area and global oil *shocks*: an empirical model-based analysis". *Temi di discussione (Economic working papers) 873*, Bank of Italy, Economic Research and International Relations Area.

FUENTES, F., 2013, "El Modelo de Desarrollo Eléctrico Chileno en la Encrucijada", en *El Desafío del Desarrollo Sustentable en América Latina*, O, Jacob, M. Peticara y M. Rodríguez Eds., Rio de Janeiro: Fundación Konrad Adenauer.

GALETOVIC, A., MUÑOZ, C., 2009, "Estimating deficit probabilities with price responsive demand in contract-based electricity markets". *Energy Policy* 37(2): 560-569.

GARCÍA, CARLOS C.J., 2012, "Impacto del Costo de la Energía Eléctrica en la Economía Chilena: Una Perspectiva Macroeconómica". Facultad de Economía y Negocios, Universidad Alberto Hurtado.

GARCÍA, C.J., GONZÁLES P., MONCADO, A., 2013, "Proyecciones Macroeconómicas en Chile: Una Aproximación Estructural y Bayesiana". *Revista Economía Banco Central de Chile* (Abril): Vol. 16, N°1.

GARCÍA, C.J., GONZÁLEZ, W., 2013, "Why Does Monetary Policy Respond to the Real Exchange Rate in Small Open Economies? A Bayesian Perspective". *Empirical Economics, Journal of the Institute for Advanced Studies, Vienna, Austria*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. 10.1007/s00181-013-0697-2.
<https://ideas.repec.org/p/ila/ilades/inv287.html>.

GARDNER, T.A., JOUTZ, F.L., 1996, "Economic growth, energy prices and technological innovation". *Southern Economic Journal* 62(3): 653-666.
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1060885?uid=3737784&uid=2&uid=4&sid=21106178088171>.

GALÍ, J., 2008, "The new Keynesian approach to monetary policy analysis: Lessons and new directions". *Economics Working Papers 1075*, Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra.

GAVIN, W., KEEN, B., 2013, "U.S. Monetary Policy: A View from Macro Theory". *Open Economies Review*, Springer, vol. 24(1), pages 33-49, February.

GERTLER, M., KARADI, P., 2011, "A model of unconventional monetary policy". *Journal of Monetary Economics*, Elsevier, vol. 58(1), pages 17-34, January.
<http://www.carnegie-rochester.rochester.edu/april10-pdfs/Gertler%20Karadi.pdf>.

GUO, H., KLIESEN, K.L. 2005, "Oil price volatility and U.S. macroeconomic activity". *Review*, Federal Reserve Bank of St. Louis, issue Nov, pages 669-84.

HAMERMESH, D., 1993, "Labor Demand". Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1993.

HAMILTON, J.D., 1983, "Oil and the Macro economy since World War II". *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 91(2), pages 228-48, April.

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1832055?uid=3737784&uid=2&uid=4&sid=21106178088171>.

HAMILTON, J.D., 2005, "Oil and the Macroeconomy" forthcoming in S. Durlauf and L. Blume (eds.), *The New Palgrave Dictionary of Economics*, 2nd ed., Palgrave MacMillan Ltd.

HAMILTON J.D., 2008, "Understanding Crude Oil Prices". NBER Working Papers 14492, National Bureau of Economic Research, Inc.

HAMILTON, J.D., 2009, "Causes and Consequences of the Oil *Shock* of 2007-08," *Brookings Papers on Economic Activity, Economic Studies Program*, The Brookings Institution, vol. 40(1 (Spring)), pages 215-283.

HAMILTON, J.D., 2010, "Nonlinearities and the Macroeconomic Effects of Oil Prices," NBER Working Papers 16186, National Bureau of Economic Research, Inc.

HAMILTON, J.D., 2012, "Oil Prices, Exhaustible Resources, and Economic Growth," NBER Working Papers 17759, National Bureau of Economic Research, Inc.

HE, Y.X., ZHANG, S.L., YANG, L.Y., WANG, Y.J., WANG, J., 2010, "Economic analysis of coal price-electricity price adjustment in China based on the CGE model," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 38(11), pages 6629-6637, November.

HENRY, D.K., STOCKES, H.K., 2006, "Macroeconomic and industrial effects of higher oil and natural gas prices," Study for the Economics and Statistics Administration. US Department of Commerce.

HUNTINGTON, H.G., 1998, "Crude Oil Prices and U.S. Economic Performance: Where Does the Asymmetry Reside?," *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, vol. (Number 4), pages 107-132.

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/41322806?uid=3737784&uid=2&uid=4&sid=21106178088171>.

HUNTINGTON, H.G., 2005, "The Economic Consequences of Higher Crude Oil Prices," EMF SR 9; 005.

JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, R., SÁNCHEZ, M., 2005, "Oil price *shocks* and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries," Working Paper Series 362, European Central Bank.

KAHN, G.A., HAMPTON, R.JR. 1990, "Possible monetary policy responses to the Iraqi oil *shock*," *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, issue Nov, pages 19-32.

KILIAN, L., 2008, "The economic effects of energy price *shock*". Journal of Economic Literature 46 (4), 871-909.

<https://ideas.repec.org/p/cpr/ceprdp/6559.html>.

KREY, V., MARTINSEN, D., WAGNER, H.J., 2007, "Effects of stochastic energy prices on long-term energy-economic scenarios," Energy: 32, 2.340-2.349.

LYSENKO, T., DE SOUZA L.V., 2007, "The Effects of Energy Price *Shocks* on Growth and Macroeconomic Stability in Selected Energy Importing CIS Countries". European Economy Occasional Papers. European Neighborhood Policy: Economic Review of EU Neighbour Countries 30: 2-22.

MEDINA, J.P., SOTO, C., 2005, "Oil *Shocks* and Monetary Policy in an Estimated DSGE Model for a Small Open Economy". Working Papers Central Bank of Chile 353, Central Bank of Chile.

MOHAMMADI, H., 2009, "Electricity prices and fuel costs: Long-run relations and short-run dynamics". Energy Economics, Elsevier, vol. 31(3), pages 503-509, May.

MORK, K.A., 1989, "Oil and the macroeconomy when prices go up and down: An extension of Hamilton's results". Journal of Political Economy, 97, 740-744.

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1830464?uid=3737784&uid=2&uid=4&sid=21106178088171>.

OBERNDORFER, U., 2009, "Energy prices, volatility, and the stock market: Evidence from the Eurozone". Energy Policy, Elsevier, vol. 37(12), pages 5.787-5.795, December.

OLADOSU, G., 2009, "Identifying the oil price-macroeconomy relationship: An empirical mode decomposition analysis of US data". Energy Policy 37 (12), 5.417-5.426.

PINCHEIRA, P.B., GARCÍA, A., 2007, "Oil *Shocks* and Inflation The Case Of Chile and a Sample of Industrial Countries". Journal Economía Chilena (The Chilean Economy), Central Bank of Chile, vol. 10(1), pages 5-36, April.

<http://www.bcentral.cl/eng/studies/working-papers/413.htm>.

RASCHE, R.H., TATOM, J.A., 1981, Energy price *shocks*, aggregate supply and monetary policy: the theory and international evidence. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 14, 9-93.

RESTREPO, J.E., SOTO, C., 2006, "Regularidades Empíricas de la Economía Chilena: 1986 – 2005". Revista Economía Banco Central de Chile (Agosto): Vol. 9, N°2.

SÁNCHEZ, M., 2011, "Oil *shocks* and endogenous markups: results from an estimated euro area DSGE model". *International Economics and Economic Policy*, Springer, vol. 8(3), pages 247-273, September.

SILL, K., 2007, "The macroeconomics of oil *shocks*". *Federal Reserve Bank of Philadelphia Business Review*. Q1, 21-31.

SMETS, F., WOUTERS, R., 2007, "*Shocks* and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach". *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 97(3), pages 586-606, June.

SMETS, F., WOUTERS, R., 2003, "An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area". *Journal of the European Economic Association*, MIT Press, vol. 1(5), pages 1123-1175, 09.
<http://www.econmodels.com/upload7282/86e43357e88bb44631f6d02f01d8d1c4.pdf>.

STERN, D., 1993, "Energy and economic growth in the USA: A multivariate approach". *Energy Economics*, Elsevier, vol. 15(2), pages 137-150, April.

TANG, W., WU, L., ZHANG, Z., 2010. "Oil price *shocks* and their short- and long-term effects on the Chinese economy". *Energy Economics*, Volume 32, Supplement 1, September 2010, Pages S3-S14, ISSN 0140-9883, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2010.01.002>.

TOKMAN, M., 2008, "Política energética: nuevos lineamientos. Transformando la crisis energética en una nueva oportunidad". Comisión Nacional de Energía.

URI, N., & BOYD, R., 1997, "An evaluation of the economic effects of higher energy prices in Mexico". *Energy Policy*, Elsevier, vol. 25(2), pages 205-215, February.

VAN ZON, A., & YETKINER, I., 2003, "An endogenous growth model with embodied energy-saving technical change". *Resource and Energy Economics*, Elsevier, vol. 25(1), pages 81-103, February.

WU, L., LI, J., ZHANG, Z., 2011, "Inflationary effect of oil-price *shocks* in an imperfect market: A partial transmission input-output analysis". *Journal of Policy Modeling*, Volume 35, Issue 2, March-April 2013, Pages 354-369, ISSN 0161-8938,
<https://ideas.repec.org/a/eee/jpolmo/v35y2013i2p354-369.html>.

YANG, C., XUAN, X., JACKSON, R., 2012, "China's coal price disturbances: Observations, explanations, and implications for global energy economies". *Energy Policy*, Elsevier, vol. 51(C), pages 720-727.

YUAN, J., ZHAO, C., YU, S., HU, Z. 2007, "Electricity consumption and economic growth in China: Cointegration and co-feature analysis". *Energy Economics*, Volume 29, Issue 6, November, Pages 1.179-1.191, ISSN 0140-9883.

Anexos

Anexo 1

Modelo macroeconómico DSGE

El modelo DSGE en términos generales el DSGE está en las líneas propuestas por Christiano, Eichenbaum y Evans (2005) y Smets y Wouters (2003, 2007). Sin embargo, incorpora además del petróleo y el cobre, la energía eléctrica como insumos productivos.

Hogares

Hay un continuo de familias de tamaño unitario, indexadas por $i \in [0,1]$. En el modelo existen dos tipos de familias: una fracción $1 - \lambda_c$ son las familias Ricardianas que tienen acceso al mercado de capitales y una fracción λ_c son las familias restringidas, cuyos ingresos dependen únicamente de su salario laboral. Las preferencias de las familias ricardianas están dadas por (A.1) donde C_t^o es el consumo y L_t^o es la oferta laboral de la familia:

$$\max_{\{C_{t+k}^o(i), L_{t+k}^o(i), B_{t+k}^{o*}(i), B_{t+k}^{o**}(i)\}_{k=0}^{\infty}} E_0 \sum_{k=0}^{\infty} \beta^{t+k} \left(\frac{(C_{t+k}^o(i) - hC_{t+k-1}^o(i))^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{L_{t+k}^o(i)^{1+\rho_L}}{1+\rho_L} \right) \quad (\text{A.1})$$

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

Tanto los depósitos de los intermediarios y la deuda del gobierno son bonos de un período que pagan el retorno nominal R_t de t a $t+1$. B_{t+1} es la cantidad total de deuda de corto plazo que las familias adquieren, W_t es el salario real, D_t^o son dividendos, $\Phi \left(\frac{B_{t+1}^*}{PIB_t} \right)$ es la prima por riesgo país, SX_t es el tipo de cambio nominal, B_{t+1}^{o*} son activos internacionales netos, R_t^* es la tasa de interés nominal externa, y T_t son impuestos lump-sum. La restricción presupuestaria de las familias no restringidas está dada por:

$$P_{t+k} C_{t+k}^o(i) \leq W_{t+k}(i) L_{t+k}^o(i) + B_{t+k}^{o*}(i) - SX_{t+k} B_{t+k}^{o**}(i) + D_{t+k}^o - R_{t+k}^{-1} B_{t+k+1}^{o*}(i) + \left(\Phi \left(\frac{B_{t+k+1}^{o*}}{PIB_{t+k}} \right) R_{t+k}^* \right)^{-1} B_{t+k+1}^{o*}(i) \quad (\text{A.2})$$

Las familias restringidas están sujetas a la siguiente restricción presupuestaria:

$$P_{t+k} C_{t+k}^R(i) = W_{t+k}(i) L_{t+k}^R(i). \quad (\text{A.3})$$

Intermediarios financieros

Los intermediarios financieros prestan fondos obtenidos de las familias a las firmas no-financieras. N_{jt} es la cantidad de riqueza neta que un intermediario j tiene al final del período t ; B_{jt} es el depósito que el intermediario obtiene de las familias, S_{jt} es la cantidad de derechos financieros sobre firmas no-financieras que los intermediarios mantienen y Q_t es el precio relativo de esos derechos. La hoja de balance de los intermediarios está dada por:

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

Los depósitos de las familias con los intermediarios en el período t pagan un retorno no-contingente R_{t+1} en $(t + 1)$. Así, B_{jt} puede ser pensado como la deuda del intermediario y N_{jt} como su capital. Los activos de los intermediarios ganan un retorno estocástico R_{kt+1} sobre este período, así el capital del intermediario se determina de la siguiente manera:

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

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

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

Donde $\Lambda_{t,t+1+i}$ es la tasa estocástica de descuento que incluye la tasa subjetiva de descuento y las utilidades marginales entre t y $(t + 1 + i)$.

Gertler y Karadi (2009) introducen riesgo moral al problema (A.6), demostrando que en términos agregados:

$$Q_t S_t = \phi_t N_t. \quad (\text{A.7})$$

La ecuación (A7) indica que la disponibilidad total de crédito privado es la riqueza de los intermediarios multiplicada por un factor ϕ que indica el grado de aplacamiento de los intermediarios.

Firmas de bienes intermedios

Las firmas de bienes intermedios utilizan capital K_t , trabajo L_t , bienes importados M_t , energía E_t y petróleo $MOIL_t$ para producir bienes intermedios Y_t . Al final del período t , las firmas productoras de bienes intermedios compran capital K_{t+1} para utilizarlo en la producción en el período siguiente. Después de finalizado el proceso productivo, las firmas tienen la opción de

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

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

En cada tiempo t , la firma produce Y_t , usando capital, trabajo, bienes importados, petróleo y energía. Sea A_t la productividad total de factores, y sea ξ_t la calidad del capital (tal que $\xi_t K_t$ es la cantidad de capital efectiva al tiempo t). Luego, la producción está dada por la ecuación (1) del texto principal.

Sea $P_{m,t}$ el precio del bien intermedio. Dado que la decisión de la firma está hecha al final de periodo t , el problema de maximización de la firma que produce bienes intermedios es:

$$\begin{aligned} \max_{\{K_{t+k}(j), L_{t+k}(j), M_{t+k}(j)\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_t \left\{ (P_{m,t+k} Y_{t+k}(j) + (1-\delta) K_{t+k}(j) Q_{t+k}) \right\} \\ - \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_t \left\{ (R_{F,t+k} Q_{t+k-1} K_{t+k}(j) + W_{t+k} L_{t+k}(j) + S X_{t+k} M_{t+k}(j)) \right\} \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

Donde $R_{F,t+k}$ es el retorno del capital. Como se explica en el texto principal, las condiciones de primer orden del problema (A9) son modificadas para asegurar mayor flexibilidad en las elasticidades de sustitución entre insumos en el corto plazo, como lo indica la ecuación (3) del texto principal.

Firmas productoras de capital

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

$$\max_{\{I_{t+k}\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \Lambda_{t,t+k} E_0 \left\{ \left((Q_{t+k} - 1) I_{t+k} - f \left(\frac{I_{t+k}}{I_{t+k-1}} \right) I_{t+k} \right) \right\}. \quad (\text{A.10})$$

En otras palabras, la firma productora de bienes de capital obtiene una ganancia por invertir en cada período de $(Q_t - 1) I_t$ menos los costos de ajuste $f \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} \right)$. Donde $f(1) = 0$ y $f'(\cdot) > 0$. La ley de movimiento del capital es dada por:

$$K_{t+k+1} = (1-\delta)\varepsilon_{t+k}K_{t+k} + I_{t+k}. \quad (\text{A.11})$$

Firmas de *retail*

El producto final Y_t se obtiene agregando (a través de una función CES) la producción de firmas intermedias. Suponemos que esto se hace por parte de otras firmas, que llamamos de *retail* y que simplemente empaican la producción de bienes intermedios:

$$Y_t = \left[\int_0^1 Y_{jt}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} df \right]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}. \quad (\text{A.12})$$

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

$$\begin{aligned} \max_{\{P_t^*(j)\}_{k=0}^{\infty}} \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_0 \left\{ \Lambda_{t,t+k} Y_{t+k}(j) (P_t^*(j) \prod_{l=1}^k (\pi_{t+l-1}^k)^{\delta_D} - MC_{t+k}) \right\} \\ \text{s.a. } Y_{t+k}(j) \leq \left(\frac{P_t^*(j)}{P_{t+k}} \right)^{-\varepsilon_D} Y_{t+k} \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

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

$$P_t = \left[(1-\theta) (P_t^*)^{\frac{1}{1-\varepsilon}} + \theta (\pi_{t-1}^{\delta_D} P_{t-1})^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \right]^{1-\varepsilon}. \quad (\text{A.14})$$

Suponemos que el producto final que es usado por consumidores y firmas es una combinación entre Y_t e importaciones de petróleo para transporte $TOIL_t$, como se define en la ecuación (4) del texto principal.

Restricción de recursos, producción de cobre y gasto de gobierno

Por motivos de simplicidad nosotros suponemos que el gasto de gobierno sigue una regla fiscal de presupuesto equilibrado, financiándose con impuestos lump-sum $P_t T_t$, ingresos del cobre $SX_t P_t^{cobre} Q_t^{cobre}$ y deuda pública (doméstica y externa). La restricción presupuestaria del sector fiscal es:

$$SX_t P_t^{cobre} Q_t^{cobre} + P_t T_t + R_t^{-1} B_{t+1}^G \quad (A.15)$$

$$+ SX_t \left(\Phi \left(\frac{B_{t+1}^*}{PIB_t} \right) R_t^* \right)^{-1} B_{t+1}^{G*} \geq SX_t B_t^{G*} + B_t^G + P_t G_t$$

Donde B_t^G y B_t^{G*} son bonos de gobierno domésticos y externos, respectivamente.

Política monetaria

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

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

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

Donde \bar{R} es la tasa natural, Π_t es la inflación total, $\bar{\Pi}$ es el objetivo inflacionario, \bar{PIB} es el PIB potencial, E_t es el tipo de cambio real, \bar{E} es el tipo de cambio real de equilibrio y u_t^R es un *shock* monetario. En las estimaciones de las ecuaciones (A16) y (A17) se utilizó el PIB sin recursos naturales (es decir, sin sector cobre).

Sector externo

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

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

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

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

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

Adicionalmente, en el modelo suponemos una oferta de cobre inelástica al precio mundial. Por motivos de simplicidad suponemos que ambas variables, cantidad y precio, siguen un proceso AR(1)²⁹.

Agregación

Para obtener el consumo agregado de la economía, se agregan de manera ponderada los consumos, trabajo y deudas que realizan las familias restringidas y no restringidas. De esta manera, el equilibrio del mercado de bienes intermedios está caracterizado por la siguiente expresión de gasto:

$$P_{m,t} Y_t = P_t C_t + P_t I_t + P_t G_t + P_t X_t \quad (A.21)$$

Por último, una vez agregadas cada una de las restricciones de las familias y las firmas, se obtiene la restricción total de la economía:

$$P_t C_t + P_t I_t \left(1 + f \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} \right) \right) + P_t G_t \leq P_{m,t} Y_t - SX_t M_t - SX_t POILMOIL_t \quad (A.22)$$

$$- SX_t POILTOIL_t$$

$$+ SX_t \left(\Phi \left(\frac{B_{t+1}^*}{Y_t} \right) R_t^* \right)^{-1} B_{t+1}^*$$

$$- SX_t B_t^* + (SX_t P_t^{cobre} Q_t^{cobre})$$

²⁹ Se modeló también la producción de cobre y su inversión en función de los precios actuales y futuros del cobre y la energía eléctrica. Pero por falta de información sobre la inversión en el sector minero que permitieran estimaciones fundamentadas en estadísticas confiables, se decidió finalmente modelar la oferta como un proceso AR (1).

Anexo 2

Detalles de las estimaciones del modelo DSGE

Tabla 2.1.

Todos los Parámetros estimados del Modelo DSGE

Parámetros	Prior	Posterior	Intervalo de confianza 90%		Distribución	Desviación Estándar
sigma	2	2,7087	2,2652	3,0772	gamma	0,5
h	0,3	0,2765	0,2414	0,3134	beta	0,05
rho_L	1	1,0229	0,9183	1,1236	gamma	0,2
rho_G	0,9	0,8574	0,7998	0,9175	beta	0,05
rho_Epsilon	0,9	0,6067	0,5596	0,6655	beta	0,05
rho_A	0,9	0,7698	0,7229	0,8126	beta	0,05
rho_Rstart	0,9	0,8967	0,8784	0,9172	beta	0,05
rho_Ystart	0,9	0,8637	0,8231	0,905	beta	0,05
rho_Oil	0,9	0,8377	0,8026	0,872	beta	0,05
rho_Pcu	0,9	0,8403	0,7491	0,9167	beta	0,05
rho_PEE_1	0,9	0,8499	0,7843	0,9164	beta	0,05
rho_PEE_2	0,9	0,8877	0,8687	0,9098	beta	0,05
rho_QCU	0,9	0,8122	0,7689	0,854	beta	0,05
index	0,5	0,902	0,8218	0,9817	beta	0,15
xi	0,75	0,7743	0,7652	0,7819	beta	0,01
index_w	0,5	0,8017	0,706	0,921	beta	0,15
xi_w	0,75	0,7615	0,7524	0,7688	beta	0,01
beta1	2	1,9436	1,9012	1,987	gamma	0,05
beta2	0,1	0,1045	0,0977	0,111	beta	0,01
rho_R	0,7	0,875	0,85	0,8991	beta	0,1
rho_inf	2	2,6889	2,5022	2,8461	beta	0,3
rho_y	0,5	0,3822	0,3219	0,4679	beta	0,1
rho_e1	0,3	0,0436	0,0008	0,083	beta	0,2
rho_e2	0,3	0,0248	0,0001	0,0501	beta	0,2
rho_E	0,6	0,1742	0,0867	0,2822	beta	0,2
PEE_P_1_OIL	0,5	0,0996	0,0325	0,1689	beta	0,2
lambda_C	0,7	0,6697	0,6113	0,7267	beta	0,05
pmg_M	0,5	0,5944	0,5431	0,6549	beta	0,1
pmg_L	0,5	0,2744	0,2298	0,3197	beta	0,1
pmg_K	0,5	0,4862	0,397	0,592	beta	0,1
pmg_MOIL	0,5	0,6625	0,5988	0,7316	beta	0,1
pmg_EE	0,5	0,4773	0,407	0,5378	beta	0,1

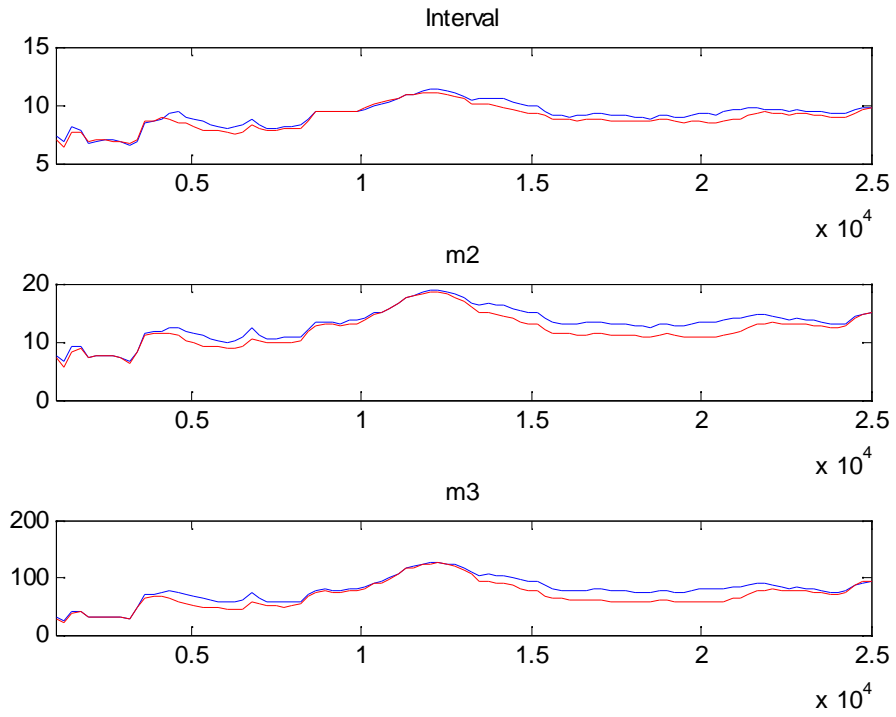
Tabla 2.1.(continuación)

Parámetros	Prior	Posterior	Intervalo de confianza 90%		Distribución	Desviación Estándar
theta_TOIL	0,1	0,0957	0,0881	0,104	beta	0,01
theta_L	0,05	0,0577	0,0512	0,0634	beta	0,01
pmg_TOIL	0,5	0,451	0,3983	0,4972	beta	0,05
pmg_G	0,5	0,4931	0,4658	0,5243	beta	0,05
Err_PIB	3,523	2,2684	1,8546	2,7016	invg2	Inf
Err_C	4,463	5,4766	4,6349	6,2687	invg2	Inf
Err_R	0,478	0,3957	0,3189	0,4686	invg2	Inf
Err_Pi	0,91	0,7438	0,421	0,9856	invg2	Inf
Err_I	8,194	10,9889	9,4689	12,6312	invg2	Inf
Err_G	12,279	1,1172	0,9218	1,3086	invg2	Inf
Err_X	9,485	12,3437	10,3042	14,3338	invg2	Inf
Err_M	6,861	5,8093	1,5084	10,4328	invg2	Inf
Err_E	5,112	4,6598	3,648	5,5449	invg2	Inf
Err_Q	9,995	11,3855	9,7209	13,0596	invg2	Inf
Err_W	1,032	0,5614	0,4511	0,6714	invg2	Inf
Err_L	1,597	1,9205	1,5834	2,2309	invg2	Inf
Err_Rstart	0,517	0,1784	0,1468	0,2093	invg2	Inf
Err_Ystart	0,727	0,6191	0,5244	0,7117	invg2	Inf
Err_Pcu	14,771	16,3563	12,8819	19,9742	invg2	Inf
Err_Oil	14,36	16,7971	14,0326	18,4745	invg2	Inf
Err_A	3,523	5,1818	4,2879	6,0934	invg	Inf
Err_Epsilon	9,995	2,6832	1,9033	3,2775	invg	Inf
Err_PEE_1	7,002	8,195	6,4655	9,7221	invg2	Inf
Err_QCU	6,664	10,989	9,66	12,234	invg	Inf
Err_UU	1,904	2,0598	0,7078	3,0999	invg	Inf

Fuente: Cálculo de los autores a base de modelo DSGE.

Gráfico 2.1.

Convergencia y Estabilidad de los Parámetros



Fuente: Simulaciones realizadas por los autores a base del modelo DSGE.

