

Ensayos Económicos | 78

Noviembre de 2021

Evolución y uso de modelos estructurales en el Banco Central de Chile
Benjamín García y Mariana García-Schmidt



BANCO CENTRAL
DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Ensayos Económicos es una revista editada por la Subgerencia General de Investigaciones Económicas

ISSN 1850-6046
Edición electrónica

Banco Central de la República Argentina
San Martín 235 / Edificio San Martín Piso 7, Oficina 701 (C1003ABF)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires / Argentina
Tel.: (+5411) 4348-3582/3814
Email: ensayos.economicos@bcra.gob.ar
Página Web: http://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Ensayos_economicos.asp

Fecha de publicación: noviembre de 2021

Diseño de tapa e interior | Gerencia Principal de Comunicación y Relaciones con la Comunidad, BCRA
Diagramación | Subgerencia General de Investigaciones Económicas, BCRA

Ensayos Económicos está orientada a la publicación de artículos de economía de carácter teórico, empírico o de política aplicada, y busca propiciar el diálogo entre las distintas escuelas del pensamiento económico para contribuir a diseñar y evaluar las políticas adecuadas para sortear los desafíos que la economía argentina enfrenta en su proceso de desarrollo. Las opiniones vertidas son exclusiva responsabilidad de los autores y no se corresponden necesariamente con la visión institucional del BCRA o de sus autoridades.

Esta revista apoya el acceso abierto a su contenido bajo el principio de que la libre disponibilidad de la investigación para el público estimula un mayor desarrollo global del intercambio de conocimiento. Para facilitar una mayor difusión y utilización, los artículos se encuentran bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



Esta licencia permite copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, y transformar y construir a partir del material original, mientras no sea con fines comerciales, se mencione el origen del material de manera adecuada, brindando un enlace a la licencia e indicando si se han realizado cambios, y se distribuya bajo la misma licencia del original.

Evolución y uso de modelos estructurales en el Banco Central de Chile

Benjamín García

Mariana García-Schmidt*

Banco Central de Chile

Resumen

El Banco Central de Chile (BCC) usa varios modelos para analizar la economía chilena y ayudar a los miembros del consejo en su toma de decisiones. Su modelo estructural principal se llama XMAS y es un modelo dinámico y estocástico de equilibrio general Neo-Keynesiano con una amplia variedad de sectores, rigideces y *shocks*. Este modelo se usa de forma recurrente como parte del marco de política monetaria. Como la economía está sujeta a una continua evolución, la necesidad de nuevas herramientas para responder preguntas también evoluciona continuamente. Así, para responder nuevas preguntas, el BCC sigue una estrategia de incorporar en el XMAS sólo cambios que sean necesarios, y de crear nuevos modelos, llamados satélites, para otros cambios. Este documento presenta las características principales del XMAS y muestra ejemplos de cambios realizados en este modelo en el pasado, así como también modelos satélites.

Clasificación JEL: E12, E32, E52, E58.

Palabras clave: Chile, modelos EGDE, modelos satélite.

* Los autores agradecen a los miembros del Departamento de Modelación Económica del Banco Central de Chile por sus valiosas contribuciones, a los organizadores del workshop "Modelos macroeconómicos para economías pequeñas y abiertas 2021" del BCRA por la oportunidad, a los asistentes del workshop por valiosos comentarios, y a Geroge Mc Candless por una beneficiosa discusión. Cualquier error es de exclusiva responsabilidad de los autores. Las opiniones expresadas en este trabajo son de los autores y no se corresponden necesariamente con las del BCRA, Banco Central de Chile o sus autoridades. Emails: bgarcia@bcentral.cl y mcgarcia@bcentral.cl.

Evolution and Use of Structural Models in the Central Bank of Chile

Benjamín García

Mariana García-Schmidt

Central Bank of Chile

Abstract

The Central Bank of Chile (BCC) uses various models to analyze the Chilean economy and to assist board members in their decision-making. Its main structural model is called XMAS and it is a Neo-Keynesian dynamic and stochastic general equilibrium model with a wide variety of sectors, rigidities, and shocks. This model is usually used as part of the monetary policy framework. As the economy is continually evolving, the need for new tools to answer new questions is evolving as well. Thus, to answer new questions, the BCC follows a strategy of incorporating into the XMAS only the necessary changes and creating new models, called satellites, for other issues. This document shows the main features of the XMAS and shows examples of changes made to this model in the past, as well as satellite models.

JEL Classification: E12, E32, E52, E58.

Keywords: Chile, DSGE models, satellite models.

1. Introducción

El Banco Central de Chile (BCC), como muchos otros bancos centrales, utiliza varios modelos para analizar las condiciones de la economía y poder ayudar a los miembros del Consejo en sus decisiones de política monetaria. Estos modelos ayudan a comprender los mecanismos inherentes en la economía y, en especial, los mecanismos de transmisión de la política monetaria. Ayudan también a proyectar la inflación y otras variables importantes y a evaluar cómo respondería la economía a diferentes eventos y trayectorias de la tasa de política monetaria. Debido a que un solo modelo no puede ayudar a responder todas las preguntas de interés, el análisis realizado en el BCC generalmente depende de un grupo de modelos, que van desde modelos empíricos simples hasta modelos dinámicos y estocásticos de equilibrio general (DSGE, por sus siglas en inglés) de gran tamaño.

El BCC actualizó recientemente su marco de política monetaria (Banco Central de Chile, 2019) y, como complemento, publicó un libro que documenta los modelos macroeconómicos y su uso en el BCC (Banco Central de Chile, 2020). Ese libro es una actualización y una mejora sustancial de un documento anterior. Es parte de un esfuerzo hecho por el Banco para aumentar y mejorar su transparencia y comunicación con el resto de la economía, ayudando a comprender mejor cómo hace su política. Este documento se basa principalmente en ese libro de modelos y los trabajos ahí citados, que contienen todas las ecuaciones y otros detalles de los modelos.

El principal modelo DSGE utilizado en el BCC se llama XMAS y se usa recurrentemente para el análisis de política monetaria. Este es un modelo con un gran número de rigideces nominales y reales y un gran número de *shocks*. Sus principales agentes son hogares, empresas, las autoridades fiscal y monetaria, y el sector externo. Tiene una amplia variedad de bienes, incluyendo un bien minero que se exporta íntegramente, otros exportables, bienes importables y también bienes de producción local. Su mercado laboral presenta fricciones de búsqueda y emparejamiento. Finalmente, hay un grupo de parámetros que se calibra y otro que se estima utilizando un conjunto de importantes series macroeconómicas.

El BCC también tiene otros modelos DSGE, generalmente más pequeños, llamados modelos satélites. Estos se utilizan principalmente para preguntas que el XMAS no está diseñado para responder o en las que se necesita mayor detalle en su respuesta. En el BCC, hay un departamento especializado con una agenda de investigación en constante evolución, que se centra en desarrollar nuevos modelos o mejorar las características de los modelos existentes. La inclusión de nuevos proyectos a la agenda de modelización se decide según lo que se considere necesario para mejorar el análisis económico, ahora o en el futuro.

Ejemplos de mejoras de modelos existentes incluyen la incorporación de *shocks* migratorios y el modelamiento explícito del co-movimiento de los precios externos de Chile al XMAS. Cuando se creó el XMAS, la inmigración en Chile no era muy importante y, por eso, el supuesto de una población o fuerza laboral constante era acertado. Luego, a partir del 2015-2016, Chile empezó a recibir un gran número de inmigrantes y la necesidad de estudiar su efecto e incluirlo en los análisis recurrentes se volvió muy importante. El segundo ejemplo es la incorporación explícita del co-movimiento de precios externos, que ocurrió alrededor de 2016. Este implicó cambiar el modelo de

precios externos, que asumía independencia completa entre ellos, a permitir un factor común que mueve todos los precios al mismo tiempo. De esta forma, todos los precios externos del XMAS son función del factor común y de un *shock* idiosincrásico, estimando con los datos relevantes sus respectivos pesos. Cabe destacar que el supuesto de independencia de los precios es una posibilidad en la nueva formulación, llevando a que, si los precios fueran de verdad independientes, la estimación conduciría a una importancia baja del factor común, lo que no es el caso.

En otras ocasiones, las preguntas de investigación se responden desarrollando nuevos modelos. Esto se debe a que, aunque las preguntas o nuevos desarrollos sean significativos, necesarios de estudio o recurrentes, no siempre deben abordarse dentro de los modelos principales. Agregar una característica a un modelo, aunque puede aumentar su realismo, generalmente también aumenta su complejidad. Si bien lo primero es algo deseable, lo segundo no lo es, ya que puede empeorar su manejo y la precisión de sus proyecciones. Es necesario un análisis cuidadoso de los beneficios y costos de incluir una característica en uno de los modelos principales o si se hace un modelo satélite. Ejemplos recientes incluyen, entre otros, un modelo DSGE con bienes transables y no transables construido para estudiar el efecto inflacionario de los movimientos del tipo de cambio nominal en diferentes sectores de la economía, y un modelo de generaciones traslapadas (OLG, por sus siglas en inglés) construido para estudiar el impacto de posibles cambios en el sistema chileno de pensiones.

El documento continúa de la siguiente manera. La siguiente sección describe el XMAS con sus principales supuestos y mecanismos. La sección 3 analiza uno de los cambios recientes introducidos en el modelo XMAS, que corresponde a la migración. La sección 4 muestra dos modelos satélites, uno que responde a una pregunta con más detalle que el XMAS, el modelo transable/no-transable, y otro que responde a preguntas específicas que el XMAS no fue diseñado para abordar, el modelo OLG. Finalmente, la sección 5 concluye.

2. El XMAS: modelo extendido para análisis y simulación

El principal modelo estructural del BCC se llama XMAS, lo que significa modelo extendido para análisis y simulación por sus siglas en inglés (Extended Model for Analysis and Simulation) y es la extensión del modelo anterior del Banco, el MAS, cuyas siglas en inglés corresponden a modelo para análisis y simulación (Model for Analysis and Simulation). El MAS fue desarrollado por Medina y Soto (2007) y fue el primer gran modelo DSGE desarrollado en el BCC para el análisis y proyecciones de política. Este modelo se usó desde su creación y fue continuamente modificado, hasta que en 2016 se empezó una modificación formal a cargo de un grupo de economistas del BCC que terminó en el trabajo de García *et al.* (2019).¹

La versión actual de XMAS comparte una estructura similar con modelos de otros bancos centrales con metas de inflación. Estos modelos se caracterizan generalmente como Neo-Keynesianos con rigideces nominales para generar no neutralidad monetaria; capital y trabajo como insumos

¹ Medina y Soto (2007) tiene una descripción completa del MAS y García *et al.* (2019) tiene una sección que compara la dinámica del MAS y XMAS explicando los efectos de los cambios más importantes.

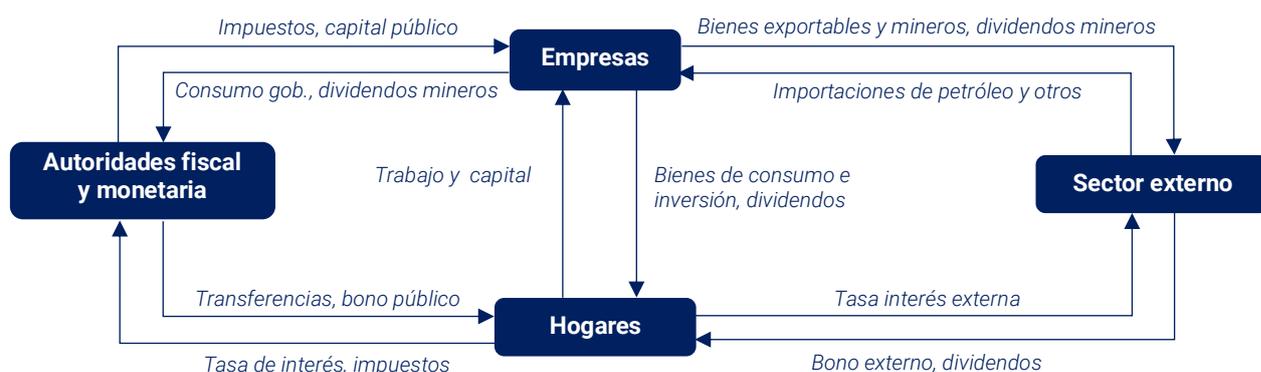
de producción; diferentes bienes que se exportan, importan o venden localmente; y políticas monetarias y fiscales, entre otras características. También tiene algunas características específicas de la economía chilena, como un sector minero y una regla estructural para el gasto fiscal.

El XMAS se puede describir en breve como un modelo DSGE de economía pequeña y abierta, con rigideces nominales y reales, hogares ricardianos y no ricardianos. Los bienes nacionales se producen con capital y trabajo, hay formación de hábitos en el consumo, costo de ajuste en la inversión, empresas que enfrentan un problema de precios tipo Calvo (Calvo, 1983) con indexación parcial y un traspaso imperfecto del tipo de cambio a precios de importación en el corto plazo debido a rigideces de precios en moneda local. El mercado laboral tiene desempleo involuntario debido a fricciones de búsqueda y emparejamiento con separaciones endógenas. La economía exporta un bien de producción local y un *commodity*. El modelo incluye varios *shocks* internos y externos, como preferencias, tecnología, PIB externo y precios internacionales, entre muchos otros. Los parámetros del modelo se fijan en parte a través de calibración y en parte a través de estimación utilizando técnicas bayesianas.

El XMAS, como cualquier modelo, tiene limitaciones importantes. Por ejemplo, presenta fricciones financieras muy limitadas, expectativas racionales como su supuesto de formación de expectativas y heterogeneidad limitada de agentes. Muchas de sus limitaciones ya son abordadas en otros modelos del BCC y otras son parte de la agenda futura de modelación.

A continuación, describiremos la estructura del XMAS y los problemas que enfrentan sus agentes.² Como se muestra en el Esquema 1, el XMAS tiene cuatro bloques principales interconectados: hogares, empresas, las autoridades fiscal y monetaria, y el sector externo. Todos los agentes están conectados, directa o indirectamente, entre sí. Los hogares compran bienes y reciben dividendos de las empresas y les ofrecen su trabajo y capital. Pagan impuestos y reciben transferencias de la autoridad fiscal y pueden comprar un bono público, cuya tasa de interés es la fijada por la autoridad monetaria. También pueden comprar un bono extranjero, por el que reciben una tasa de interés externa, y obtienen dividendos de empresas externas.

Esquema 1 | Principales agentes del XMAS



² Para mayores detalles, como todas las ecuaciones, ver García *et al.* (2019) y para los códigos de replicación y detalles de estimación, ver el repositorio en línea de Banco Central de Chile (2020).

Las empresas, además de la conexión con los hogares, pagan impuestos, usan capital público, venden sus bienes al gobierno y dan dividendos mineros. Por último, venden sus bienes mineros y exportables al sector externo y compran importaciones, las cuales son petróleo y no-petróleo. Las empresas mineras son parcialmente propiedad de extranjeros.

2.1. Hogares

Hay dos tipos de hogares, restringidos y no restringidos, y todos tienen la misma función de utilidad. Los miembros de los hogares pueden estar empleados o desempleados. Derivan utilidad del consumo de bienes públicos y privados (con hábitos) y del ocio, definido como horas no trabajadas. Como Merz (1995), los miembros de cada hogar comparten riesgos.

Los hogares no ricardianos o restringidos solo enfrentan el problema de consumir sus ingresos netos de impuestos y transferencias. Dentro de sus ingresos se encuentran los salarios de los trabajadores empleados, el seguro de desempleo de los desempleados y transferencias de monto fijo del gobierno. Por otro lado, los gastos de los hogares incluyen el pago de impuestos al consumo y a los ingresos laborales, que incluye un impuesto salarial general y una contribución al fondo del seguro de desempleo; e impuestos de suma alzada que puede poner la autoridad fiscal.

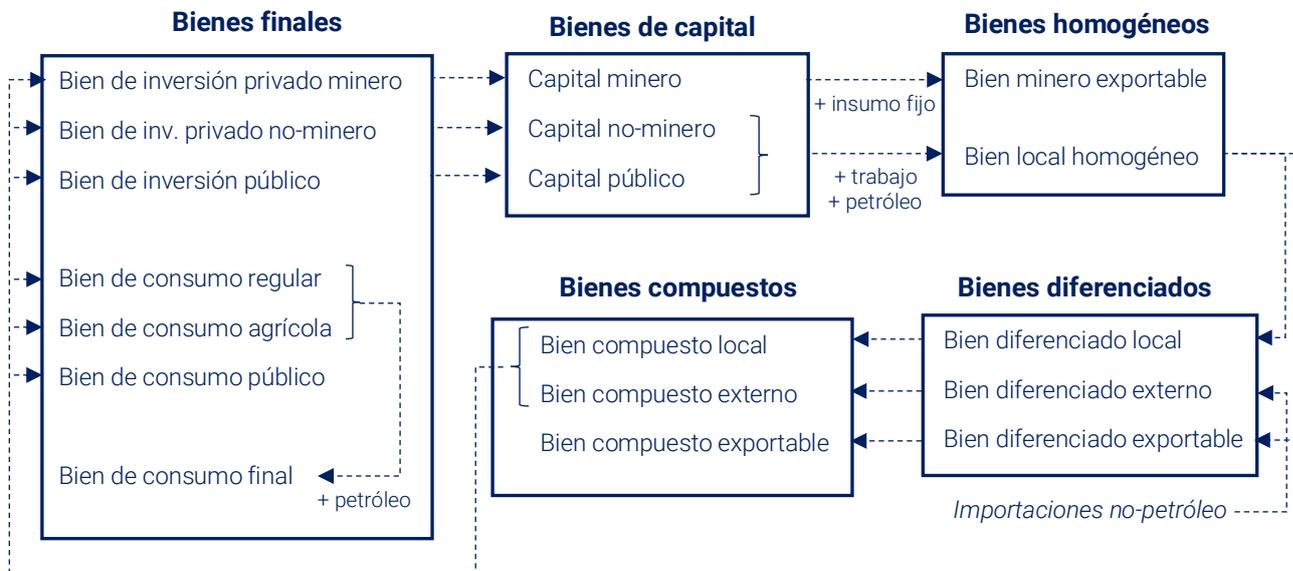
En cambio, los hogares ricardianos o no restringidos tienen variables de decisión adicionales. Ellos también reciben pagos provenientes de ser dueños de las empresas (nacionales y externas), del arriendo de los bienes de capital y de activos financieros. Por otra parte, sus gastos incluyen inversión en bienes de capital (con costos de ajuste), compra de bonos locales y externos y el pago de impuestos sobre dividendos e ingresos de capital.

2.2. Empresas

Hay cinco tipos de bienes producidos en un sistema circular: bienes de capital, bienes homogéneos, bienes diferenciados, bienes compuestos y bienes finales. La estructura insumo-producto que vincula los diferentes tipos de bienes se resume en el Esquema 2.

Primero, hay tres bienes de capital, minero, no minero (ambos privados) y público. Cada uno se produce utilizando bienes de inversión específicos de cada sector. Las empresas productoras son perfectamente competitivas. Las decisiones de inversión óptimas son tomadas por distintos actores: la empresa minera toma la decisión de inversión minera, los hogares de inversión no minera, y el gobierno de inversión pública. La decisión óptima de inversión minera depende de sus costos, que son una restricción *time-to-build* y las tasas de interés actuales y esperadas, y los beneficios esperados. La decisión óptima de inversión no minera depende de sus costos alternativos y directos, incluidos los costos de ajuste de capital para evitar fluctuaciones excesivas de inversión, las tasas de interés y la utilidad marginal del consumo, y los beneficios derivados de la tasa de alquiler de capital esperada futura. Finalmente, la inversión pública fluctúa estocásticamente alrededor de un nivel determinado por la regla de balance estructural del gasto público.

Esquema 2 | Estructura productiva del XMAS



En segundo lugar, está la producción de bienes homogéneos realizada por empresas representativas con competencia perfecta. Como se muestra en el Esquema 2, se producen dos bienes: un bien minero exportable y un bien local homogéneo. El bien minero exportable se fabrica utilizando capital específico del sector, así como también un insumo fijo. El bien local homogéneo se produce utilizando capital privado no minero, capital público, trabajo y petróleo. Ambos sectores están sujetos a *shocks* de productividad idiosincrásicos.

En tercer lugar, tenemos la producción de bienes diferenciados que, como se muestra en el Esquema 2, son de tres tipos: bienes diferenciados locales, bienes diferenciados externos y bienes diferenciados exportables. Los productores de bienes diferenciados actúan bajo competencia monopolística y están sujetos a rigideces de precios, pudiendo escoger sólo de forma aleatoria precios óptimamente, siguiendo a Calvo (1983). Las empresas que no pueden elegir precios de manera óptima actualizan sus precios utilizando un promedio ponderado de la inflación pasada y la meta de inflación del banco central. La indexación a la inflación pasada genera efectos adicionales en la dinámica de precios. La tecnología de estas empresas requiere una unidad del bien homogéneo para producir una unidad del bien diferenciado. Los bienes locales y exportables diferenciados se producen utilizando bienes locales homogéneos. Por el contrario, el bien externo diferenciado se produce con importaciones no-petróleo.

En cuarto lugar, viene la producción de bienes compuestos. Estos bienes son fabricados por empresas representativas bajo competencia perfecta que combinan diferentes variedades de bienes diferenciados en un compuesto. Hay tres tipos de bienes compuestos: bienes locales, bienes externos y bienes exportables. Los dos primeros se venden localmente, mientras que el tercero se exporta íntegramente.

En quinto y último lugar, tenemos la producción de bienes finales, que es realizada por empresas representativas perfectamente competitivas. Como se muestra en el Esquema 2, estos bienes se pueden separar entre bienes de inversión y bienes de consumo. Los bienes de inversión además se separan en bienes de inversión privada minera, de inversión privada no-minera y de inversión pública. Los bienes de consumo se separan en consumo regular, consumo agrícola (alimentos), consumo de gobierno y bienes de consumo final. Este último es una mezcla de los bienes de consumo regular y agrícola con petróleo. Todos los bienes de inversión y todos los de consumo, menos los bienes de consumo final se fabrican combinando bienes compuestos locales y externos. La producción del bien agrícola está sujeta a un *shock* de productividad idiosincrásico adicional para dar cuenta de la mayor volatilidad de ese sector.

2.3. Autoridades fiscal y monetaria

El gobierno sigue una regla de balance estructural en la que sus ingresos a largo plazo determinan los gastos. Estos gastos incluyen el consumo del gobierno, la inversión pública y las transferencias a los hogares. Los ingresos del gobierno provienen de los impuestos, la propiedad de empresas mineras y la emisión de nueva deuda pública. Además, utilizando una combinación de subsidios e impuestos variables, el gobierno reduce la volatilidad del precio interno del petróleo, de acuerdo con el marco MEPCO.³

El banco central, por su parte, sigue una regla de Taylor, que depende de la desviación de una medida de inflación (una suma ponderada de la inflación total y subyacente, actual y esperada) de la meta; y la desviación del crecimiento de su nivel a largo plazo. La regla también incluye un rezago de la tasa anterior y un *shock*, el cual tiene correlación serial positiva siguiendo a Arias y García-Schmidt (2018).

2.4. Sector externo

El sector externo corresponde al resto del mundo. Los agentes de este bloque fijan precios internacionales, venden importaciones de petróleo y no-petróleo, compran el bien compuesto exportable y el bien minero, ofrecen bonos externos y reciben rentas por la propiedad parcial del sector minero.

Los precios externos se modelan dependiendo de un *shock* común y uno específico a cada precio. El factor común, así, afecta con distintos pesos a los precios del petróleo, el bien minero, el bien importable no-petróleo y el índice de precios del resto del mundo.

La depreciación nominal está determinada por una condición de paridad de tasas de interés descubierta que surge de la igualación del rendimiento esperado que los hogares ricardianos pueden obtener ahorrando en bonos locales y externos. Esta condición de paridad iguala la tasa devengada por los bonos en moneda nacional, dada por la tasa de política monetaria, y los bonos en moneda

³ MEPCO (Mecanismo de Estabilización de Precios de Combustibles) es un mecanismo que evita fluctuaciones excesivas del precio local de los combustibles pese a haber fluctuaciones excesivas internacionalmente.

extranjera. Los bonos en moneda extranjera pagan la tasa de interés mundial libre de riesgo ajustada por las primas de riesgo observadas (deuda local como % del PIB) y no observadas.

2.5. Mercado del trabajo

El mercado laboral se modela con fricciones de búsqueda y emparejamiento como en Mortensen y Pissarides (1994), permitiendo separaciones tanto exógenas como endógenas, como en Cooley y Quadrini (1999) y den Haan *et al.* (2000). Siguiendo a Boscá *et al.* (2011), un sindicato negocia un contrato laboral único, por lo que las empresas son indiferentes entre los distintos trabajadores. Por lo tanto, todos los trabajadores reciben el mismo salario, trabajan la misma cantidad de horas y tienen la misma probabilidad de estar empleados.

En cada período, una fracción de las relaciones laborales se destruye de forma exógena. Las relaciones que sobreviven pueden separarse endógenamente dependiendo del costo de operación estocástico idiosincrásico del trabajador. Una tecnología de *matching* determina las nuevas contrataciones del período en función de los trabajadores desempleados que buscan empleo y las vacantes disponibles. Las empresas, que son maximizadoras de utilidad, determinan de manera óptima el número de vacantes disponibles y las terminaciones de relaciones laborales en cada período. El salario ganado por los trabajadores empleados y el esfuerzo laboral son el resultado de un proceso de negociación entre las empresas y el sindicato.

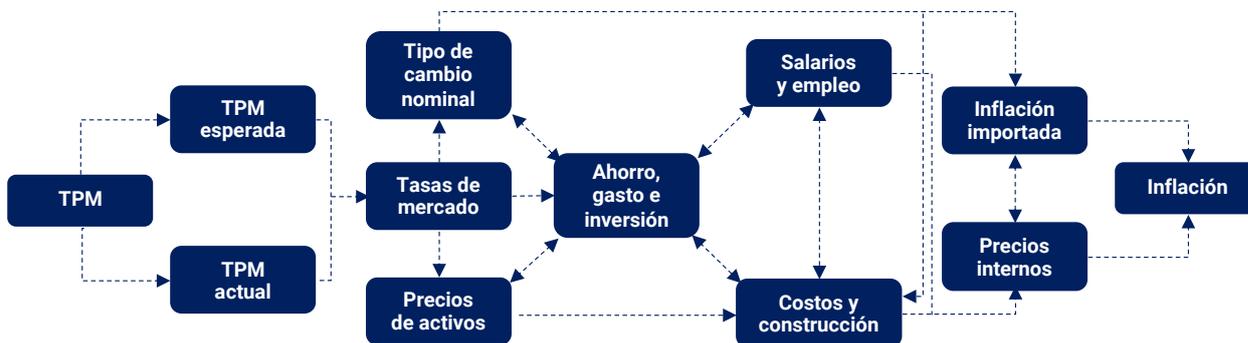
2.6. Shocks y mecanismos de transmisión

Hay 23 *shocks* en esta economía:

- *Shocks locales (14)*: a las preferencias intertemporales de los hogares; a la desutilidad laboral; a la productividad marginal de la inversión (minera y no minera); a la productividad en la producción del bien minero exportable, del bien local homogéneo y del bien agrícola; a la productividad permanente; al consumo del gobierno; a la inversión pública; a las transferencias gubernamentales; a la tasa exógena de destrucción de empleo; al precio del petróleo local; y un *shock* de política monetaria.
- *Shocks externos (9)*: a la tasa de interés internacional libre de riesgo; al premio de riesgo país; al premio no observado de la condición de paridad de tasas descubierta; a la demanda externa del bien compuesto exportable; al factor común de los precios internacionales y a cada precio externo por separado (petróleo, importaciones no-petróleo, bien minero e índice de precios externos).

Cada *shock* afecta a la economía de diversas formas a través de canales directos e indirectos, dada la interacción de cada detalle del modelo. A modo de ejemplo, y con la ayuda del Esquema 3, revisaremos los efectos inflacionarios y el mecanismo de transmisión de un *shock* monetario.

Esquema 3 | Canales de transmisión de la política monetaria en el XMAS



Nota: TPM se refiere a la tasa de política monetaria.

Un *shock* de política monetaria afecta las tasas de política monetaria actuales y esperadas. Ambos cambios afectan las tasas de mercado y los precios de los activos. En una economía como Chile, abierta al mercado internacional de capitales, los cambios en el diferencial de tasas de interés locales y externas afectan al tipo de cambio, tanto actual como esperado. Las expectativas de depreciación nominal se ajustan en el monto requerido para igualar el rendimiento esperado de los bonos denominados en moneda local y externa. En este contexto, los aumentos en las tasas de política monetaria se asocian a una apreciación del tipo de cambio nominal, mientras que las disminuciones a una depreciación. Los movimientos del tipo de cambio nominal afectan la inflación tanto directa como indirectamente. Directamente a través de la inflación importada y costos de producción, e indirectamente a través de su efecto sobre los precios relativos y, por lo tanto, las decisiones de ahorro, gasto e inversión.

Otro canal por el cual un cambio de política monetaria afecta a la inflación es a través de cambios en las decisiones de ahorro, gasto e inversión. Un aumento de las tasas de interés, incrementa el rendimiento de los ahorros, lo que hace que los hogares ricardianos pospongan su gasto e inversión. Una disminución de la tasa de interés, en cambio, hace que los hogares consuman e inviertan más hoy, reduciendo así sus ahorros.

Debido a que los precios relativos cambian la decisión marginal de trabajar, los canales de transmisión mencionados anteriormente también afectan los salarios y el empleo. A su vez, los cambios en el mercado laboral afectan los costos de producción de las empresas y, por lo tanto, sus decisiones de precios.

Todos estos canales se suman y se refuerzan entre sí, por lo que el efecto final será una combinación de efectos directos, indirectos y de equilibrio general.

2.7. Datos y estimación

Los parámetros del modelo se obtienen mediante una combinación de calibración y estimación. Los parámetros calibrados se obtienen de acuerdo con la literatura relacionada y algunos también se fijan como promedios u otros momentos relevantes de largo plazo de los datos.

Para estimar los parámetros restantes, se usan 24 series trimestrales locales y externas entre 2001 y 2017, período en el que el BCC ha seguido un régimen de metas de inflación con una tasa de interés nominal como instrumento de política. Entre las series locales están, por ejemplo, componentes del PIB, precios, salarios, empleo, consumo del gobierno, tasas de interés y tipo de cambio nominal. Por otro lado, entre las series externas, se encuentran precios externos (del bien minero, del petróleo y de la inflación extranjera), la tasa de interés externa y el PIB de los socios comerciales.

2.8. Uso del modelo

En el BCC, el modelo XMAS está en el centro del proceso de proyecciones de mediano plazo, junto con el modelo semi-estructural MSEP, descrito en Arroyo *et al.* (2020). Dado un conjunto de observables, que normalmente incluyen datos reales, proyecciones de corto plazo de modelos económicos para variables nacionales, y proyecciones de corto y mediano plazo de modelos económicos y estructurales para el resto de la economía mundial, el modelo XMAS produce proyecciones consistentes para todas sus variables endógenas. Estas trayectorias proyectadas son uno de los principales insumos para la elaboración del escenario central de proyección que se realiza 4 veces al año para el análisis de política y como parte del IPoM (Informe de Política Monetaria del BCC).

Es importante señalar que la elaboración del escenario central de proyección se realiza en un proceso que tiene muchos pasos y dura varias semanas.⁴ De forma general, se puede separar en tres bloques: la proyección de variables externas, la proyección de variables locales de corto plazo y, finalmente, la proyección de variables locales de mediano plazo, que utiliza como insumos las dos primeras partes y es para la que se usa el XMAS. Cada paso del proceso incluye no solo modelos y datos, sino también juicio. A veces, el juicio es necesario por falta de datos y otras veces complementa información de datos disponibles. Esto es muy importante para asegurarse que las proyecciones tengan sentido y tengan la mejor cantidad y calidad de información disponible. Es de suma importancia tener la flexibilidad para incluir juicio debidamente justificado, porque esta inclusión genera mejores proyecciones y ayuda en el análisis.

La naturaleza del XMAS también permite su utilización en otros dos casos. Primero, el modelo puede descomponer las trayectorias históricas y proyectadas de los *shocks* subyacentes que están detrás de los movimientos de las variables endógenas. Esta característica permite que el modelo se utilice no solo para obtener proyecciones de las variables de interés, sino también para tener una idea de los *shocks* que impulsaron los movimientos. Es importante contrastar esta información con la visión del *staff* y del Consejo para entender todos los mecanismos y poder explicar los movimientos de forma coherente.

En segundo lugar, la naturaleza estructural del modelo lo convierte en una herramienta ideal para el análisis de escenarios hipotéticos, lo que resulta de mucha utilidad para evaluaciones de riesgo y sensibilidad. Los análisis de sensibilidad también son una parte principal de la discusión de polí-

⁴ El capítulo 2 de Banco Central de Chile (2020) tiene una descripción detallada del proceso y el capítulo 3 y 4 describen los modelos usados en él.

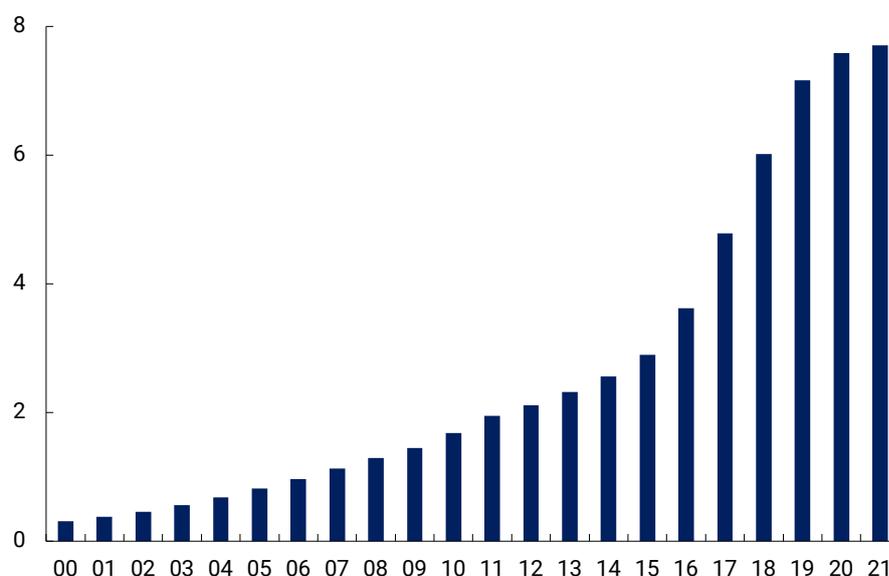
tica monetaria y del IPoM porque muestran las implicancias cuantitativas de la ocurrencia de algunos *shocks* que, pese a no estar en el escenario central, si pueden ocurrir. Es muy importante para el manejo de riesgos tener una idea de cómo posibles *shocks* afectarán a la economía.

3. Introduciendo migración en el XMAS

Chile no era un país que solía recibir muchos inmigrantes, a diferencia de Estados Unidos o muchos países de Europa. Como muestra la Gráfico 1, en 2007, cuando se desarrolló el modelo MAS, la proporción de extranjeros como porcentaje de la población total era sólo alrededor del 1%. Incluso en 2015, cuando comenzó el desarrollo del XMAS, los inmigrantes representaban menos del 3% de la población. Sin embargo, a partir de 2016 se produjo un aumento significativo de los flujos migratorios. Estimaciones recientes para 2021 muestran que la fracción de extranjeros es alrededor del 7,5% de la población total.

La magnitud de los nuevos inmigrantes fue sustancial y no se espera que desaparezca. Por lo tanto, es muy importante analizar los efectos de un *shock* migratorio en la economía y en el XMAS. García y Guerra-Salas (2020) encontraron una manera limpia y directa de incluir tal *shock* en el XMAS, y analizaron distintos supuestos asociados al actuar de los inmigrantes, que de hecho cambian su dirección inflacionaria. Esta sección ofrece una visión general de cómo se incluyó dicho cambio y las principales conclusiones.

Gráfico 1 | Estimación del número de extranjeros como porcentaje de la población total



Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

3.1. El modelo

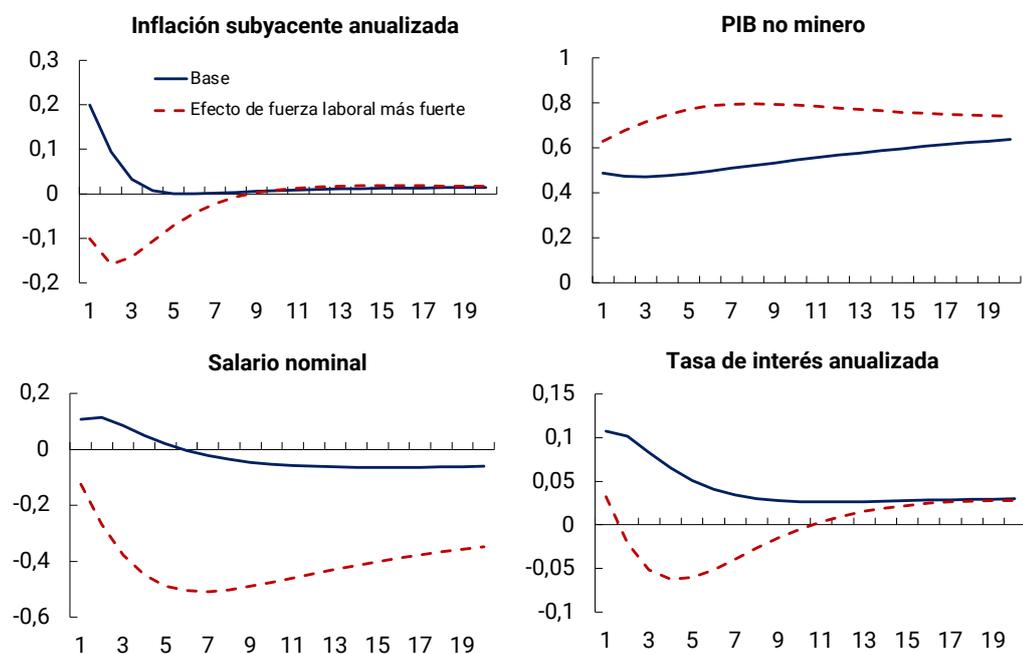
Como explican García y Guerra-Salas (2020), el efecto *a priori* de un *shock* migratorio en la inflación es ambiguo. Por un lado, al aumentar la población, aumenta el consumo agregado, creando un canal de demanda que aumenta la inflación. Por otro lado, más personas ingresan al mercado laboral, lo que lo debilita, creando un canal de oferta laboral que contiene el crecimiento salarial y genera presiones desinflacionarias.

El principal cambio en el modelo es permitir una variación exógena en el tamaño de la fuerza laboral. El *shock* migratorio es así un aumento exógeno y cuasi-permanente en la fuerza laboral (el tamaño del hogar). Se asume que los inmigrantes llegan desempleados y deben buscar trabajo.

La especificación base asume que los inmigrantes no experimentan un período de subempleo (modelado como una menor productividad de los inmigrantes recién llegados al estar activo), que no envían remesas y que no están dispuestos a trabajar por un salario menor a los chilenos (modelado como una desutilidad de trabajar distinta para la proporción de inmigrantes al estar activo). García y Guerra-Salas (2020) también incluyen en su análisis los efectos de relajar cada uno de estos supuestos, mostrando que las consecuencias inflacionarias cambian significativamente.

Bajo los supuestos base, el canal de demanda del *shock* migratorio domina. Esto hace aumentar precios, salarios, PIB y tasas de interés, como se muestra en el Gráfico 2.

Gráfico 2 | Respuestas de distintas variables de interés a un flujo migratorio



Fuente: García y Guerra-Salas (2020).

El Gráfico 2 también nos permite ver los efectos del mismo *shock* migratorio, pero bajo el supuesto de que los inmigrantes están dispuestos, en el corto plazo, a trabajar por salarios más bajos. Como podemos ver, en este caso, el efecto oferta domina, lo que implica menores precios, tasas de interés y mayor producción. En su trabajo, García y Guerra-Salas (2020) también describen y analizan otros valores de los parámetros. Según la especificación preferida y en uso en el BCC, los efectos inflacionarios de los canales de oferta y demanda mayormente se cancelan.

3.2. Uso del modelo

Dada la dinámica migratoria observada, el BCC necesitaba tener un modelo que pudiera analizar los efectos y las implicancias para la política monetaria de este *shock*. La evaluación realizada fue que, dado que no se esperaba que los patrones de migración se revirtieran en el corto plazo, y este cambio puede tener efectos en todos los sectores de la economía, era útil incluir estas características directamente en XMAS, en lugar de utilizar un modelo satélite.

Para la estimación y la proyección del modelo se agregó como serie observada la participación de inmigrantes en la fuerza laboral, lo que permite identificar el impacto de los *shocks* migratorios en cada variable, tanto de forma histórica como en su proyección.

4. Ejemplos de modelos satélite

Como cualquier modelo es, en definitiva, una simplificación de la realidad, siempre se dejan fuera muchas alternativas y posibles especificaciones. El XMAS, como modelo principal para el análisis y las proyecciones del BCC, debe incluir únicamente los agentes y supuestos críticos que deben estar siempre presentes. Sin embargo, no necesariamente incluye todas las características, fricciones o agentes que, aunque a veces son muy importantes, no son siempre necesarios de incluir.

Como estrategia, el BCC desarrolla y utiliza modelos satélites para los casos en los que es necesario ser más específico en el análisis o proyecciones, o responder preguntas que el XMAS no está diseñado para responder en detalle. En esta sección, describimos brevemente dos de estos modelos, la razón de su existencia y uso actual: uno diseñado para estudiar la propagación sectorial de cambios en el tipo de cambio nominal, y otro desarrollado para estudiar las implicaciones económicas de cambios en el sistema de fondos de pensiones.

4.1. Un modelo de bienes transables y no transables para estudiar el efecto inflacionario de movimientos cambiarios

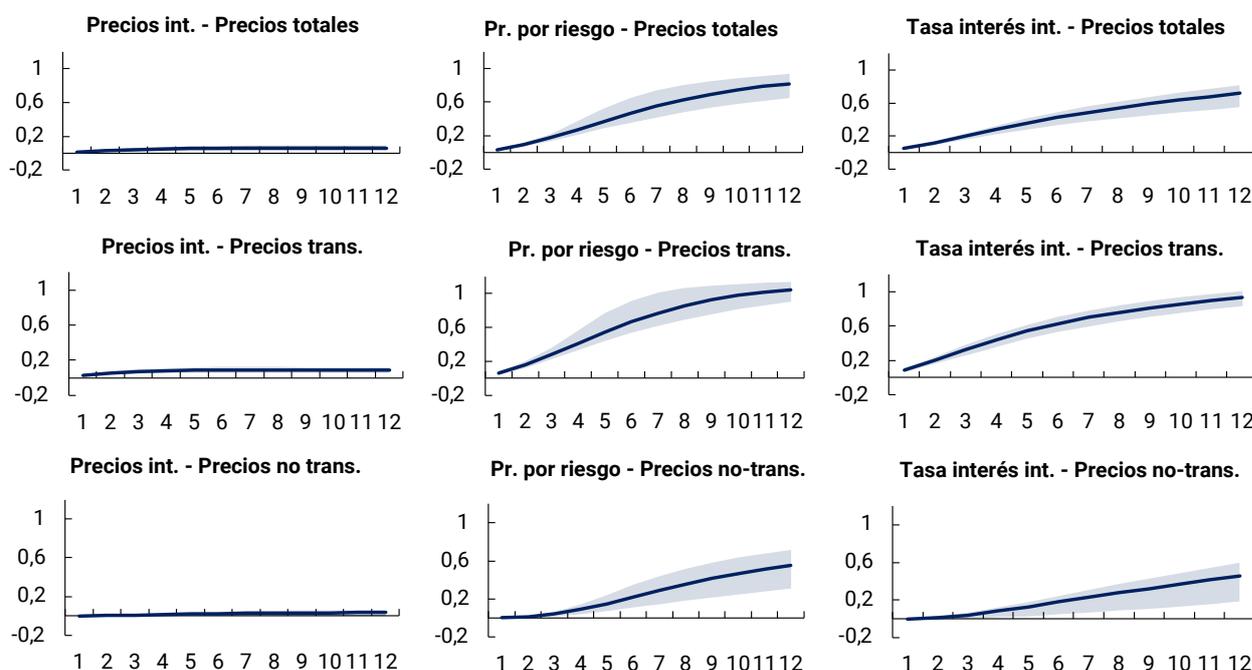
El modelo, descrito en García-Cicco y García-Schmidt (2020), incluye bienes transables y no-transables (por eso TNT), para caracterizar los diferentes mecanismos de transmisión de las variaciones del tipo de cambio nominal en diferentes sectores de la economía. El modelo resalta que, por una parte, dado un cambio del tipo de cambio, no todos los sectores se ven afectados de la misma manera y, por la otra, que no todos los *shocks* que afectan al tipo de cambio tienen las mismas consecuencias en la economía local y, por lo tanto, requieren la misma respuesta de política. Las principales diferencias con el XMAS son la inclusión del sector no-transable y el uso de un insumo

importado más general para producir el bien exportable no minero y el bien no-transable. A cambio de estas adiciones, el modelo presenta una versión simplificada del problema del gobierno, la estructura del mercado laboral y otras características no esenciales.

El modelo TNT se usa frecuentemente en el BCC, particularmente en momentos de grandes movimientos en el tipo de cambio nominal. Las preguntas típicas a responder son: ¿qué *shock* originó el movimiento? ¿cuánto tiempo afectará ese *shock* a los diferentes sectores de la economía? y ¿cómo debería responder la política monetaria? El Gráfico 3 muestra el traspaso del tipo de cambio a distintos precios (ERPT, por sus siglas en inglés) de los tres *shocks* que más afectan al tipo de cambio nominal. La primera columna muestra el traspaso después de un *shock* que afecta todos los precios internacionales, la segunda columna es después de un *shock* a la prima por riesgo de la paridad descubierta de tasas de interés y la tercera columna es después de un *shock* a la tasa internacional libre de riesgo. La primera línea muestra los efectos en los precios locales totales, la segunda en los precios transables y la tercera en los precios no transables.

Una de las conclusiones que se destacan con este modelo, que se muestra en las diferentes filas del Gráfico 3, es que los *shocks* afectan a los sectores de la economía de manera muy diferente en términos de la magnitud y el momento de los efectos. Los efectos en el sector transable (segunda fila) son más inmediatos y de corta duración, mientras que en el sector no-transable (tercera fila) aparecen más tarde y duran más. La razón detrás de esta respuesta tardía pero persistente es que, si bien el sector no-transable no se ve tan directamente afectado como el transables, presenta mayores rigideces de precios e indexación a movimientos pasados del índice de precios al consumidor. El efecto sobre los precios totales es un promedio de los dos anteriores.

Gráfico 3 | Coeficientes de traspaso condicional a precios locales



Notas: Precios int.= precios internacionales, Pr. por riesgo = premio por riesgo, tasa interés int. = tasa interés internacional, trans. = transables y no-trans. = no-transables.
Fuente: Garcia-Cicco and Garcia-Schmidt (2020).

La segunda conclusión principal del modelo, que se muestra en las columnas del Gráfico 3, es que no todos los movimientos del tipo de cambio nominal tienen la misma consecuencia inflacionaria, dependiendo de forma muy importante del *shock* que originó el movimiento. Como se muestra en los gráficos de la primera columna, después de un *shock* a los precios internacionales, los efectos en los distintos índices de precios por un cambio del tipo de cambio son bajos y de corta duración. En cambio, como se muestra en los gráficos de la segunda y tercera columna, los efectos después de *shocks* a la prima por riesgo y a la tasa de interés internacional son mucho mayores y duran más tiempo.

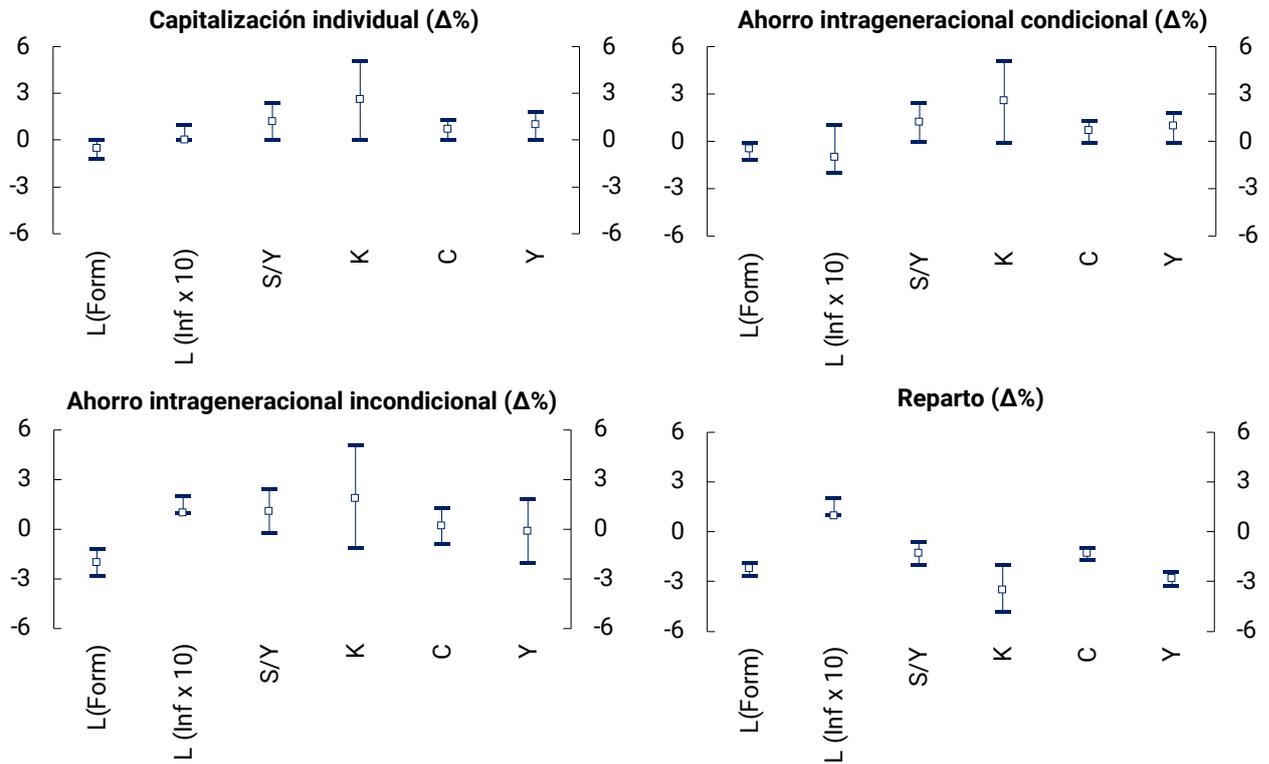
Los resultados discutidos anteriormente tienen implicancias para la política monetaria muy importantes, porque dependiendo del *shock* detrás de los cambios, la respuesta debiese ser distinta. Si el *shock* detrás del movimiento cambiario fue a los precios internacionales, la política monetaria no debería reaccionar, dado que incluso si lo hiciera, el efecto del *shock* se dejaría de sentir antes que la política tuviera efecto por el rezago en su actuar. En contraste, si el *shock* detrás del movimiento cambiario es a la prima por riesgo o a la tasa internacional, incluso fluctuaciones moderadas del tipo de cambio tendrán efectos significativos y no tan inmediatos sobre los precios y, por lo tanto, podrían requerir acciones de política más decisivas.

4.2. Un modelo de generaciones traslapadas para analizar el impacto económico de distintos sistemas de pensiones

Un segundo modelo satélite que recientemente ha ganado importancia en el conjunto de herramientas del BCC es un modelo OLG para estudiar los efectos de largo plazo de distintos sistemas de pensiones en Chile. Los modelos OLG no se utilizan habitualmente en los bancos centrales. Se centran en efectos de largo plazo, mientras que, en general, la banca central y la política monetaria tienen que ver con el ciclo y hay neutralidad monetaria a largo plazo. Sin embargo, a veces surgen preguntas de largo plazo que son de interés para los bancos centrales que necesitan herramientas especializadas para su análisis.

El sistema de pensiones en Chile ha sido parte de importantes discusiones desde hace algún tiempo. Para analizar las implicancias de diferentes alternativas al sistema de pensiones chileno, el BCC desarrolló un OLG descrito en Banco Central de Chile (2017). El modelo incluyó 3 generaciones (joven, adulto trabajador y adulto jubilado), producción formal con capital y trabajo, empleo informal y heterogeneidad en la capacidad y preferencias intertemporales para aproximar la distribución del ingreso y diferencias en ahorro observados. Además, el modelo incluyó fricciones de información que generan efectos reales de ahorrar obligadamente. En este marco, las personas en edad de trabajar no internalizan plenamente los beneficios futuros del ahorro previsional. El Gráfico 4 muestra los resultados cuantitativos de cambios bajo distintos sistemas de pensiones en el PIB, la inversión, el ahorro, la acumulación de capital y el empleo.

Gráfico 4 | Efectos de distintos sistemas de pensiones usando un modelo OLG



Notas: (1) Los gráficos muestran las desviaciones porcentuales del estado estacionario inicial. (2) L(Form): empleo formal; L(Inf X 10): (10 veces) empleo informal; S/Y: Ahorro sobre PIB; K: Capital; C: Consumo agregado; Y: PIB. Fuente: Banco Central de Chile (2017).

El gráfico muestra los resultados de un aumento del 5% de los ahorros en 4 sistemas de pensiones. En el primero, de capitalización individual, que es el sistema actual, cada persona ahorra un porcentaje, que luego es recibido por esa misma persona después de la jubilación. En el segundo, ahorro intergeneracional condicional, lo que ahorra cada persona va a un fondo común que luego se distribuye entre todos los trabajadores de esa generación. En el tercero, ahorro intergeneracional incondicional, al igual que el anterior, lo ahorrado va a un fondo común, pero este se distribuye a todos los miembros de esa generación, trabajadores y no. Y finalmente, en el último, reparto, es el sistema en el que lo que se recauda cada período se distribuye entre los jubilados del mismo período.

Los resultados muestran que el aumento del ahorro en el primer y segundo sistema tiene efectos similares: efectos negativos moderados en el mercado laboral, aumento en el stock de capital y aumento en la producción. En cambio, si el aumento del ahorro ocurriera en el tercer sistema, los efectos serían más negativos en el mercado laboral y en la producción que sería más baja que sin la reforma, y menos positivos en el ahorro agregado y en el stock de capital. Finalmente, el último régimen implica los peores resultados en términos de variables macroeconómicas, llevando a una importante disminución de capital y trabajo.

Una extensión del modelo fue usada recientemente para estudiar los efectos de retiros parciales de cuentas de pensiones individuales, que han sido parte de las políticas promulgadas desde 2020

para ayudar con la pandemia. La extensión incluyó más cohortes (30) y una mejora importante de cómo se modela el sector informal, incorporando productividad marginal decreciente y mejorando la calibración de la elasticidad de participación. Las principales conclusiones mostraron que los retiros reducirán la tasa de ahorro en la economía, aumentarán de forma transitoria el consumo y contraerán de forma persistente el capital y el producto agregado. La razón de estos efectos es la internalización parcial de los ahorros generados por el sistema de pensiones. Debido a esta fricción de información, el sistema de pensiones genera ahorros, capital y producción más altos que sin el sistema.

5. Conclusiones

La modelación en general, y en los bancos centrales en particular, es una ciencia en continua evolución. Los bancos centrales deben proveer el mejor análisis y las más precisas proyecciones posibles, así como explicar la intuición y los principales mecanismos al hacer política. A medida que evolucionan la economía y las mejores prácticas de modelación, los modelos de los bancos centrales también deben evolucionar. Para mantenerse en la frontera del conocimiento y modelación, el BCC cuenta con un departamento especializado en la actualización y creación de nuevos modelos llamado Departamento de Modelación Económica.

Como se describe en este documento, la estrategia que sigue el BCC, es por un lado contar con modelos principales, siendo el XMAS el modelo estructural de mayor tamaño, que incorporan las características más esenciales de la economía. Por otro lado, el BCC cuenta con modelos satélite para abordar cuestiones concretas o mecanismos particulares que están en juego en algunas ocasiones.

Entre los modelos actualmente en desarrollo en el BCC se encuentra un modelo DSGE que incorpora fricciones en los mercados financieros y otorga un rol específico a las políticas macroprudenciales. El modelo Macro Financiero (MaFin) tiene un sector real un poco más simple que el del XMAS, y se extiende al incorporar emprendedores, viviendas y bancos que están sujetos a fricciones financieras causadas por información asimétrica entre prestatarios y prestamistas. Bajo este modelo, el monto de los préstamos corporativos y para la vivienda, junto con sus tasas de incumplimiento, se convierten en determinantes importantes del producto agregado, la inflación y la transmisión de la política monetaria. Además, este modelo permite la implementación de políticas macroprudenciales, las cuales tienen como objetivo mantener la estabilidad macroeconómica a través de instrumentos financieros y su interacción con la política monetaria.

Referencias

- Arias, A. y M. García-Schmidt (2018); "Análisis de Reglas de Política Monetaria en Modelo XMAS", Mimeo, Banco Central de Chile.
- Arroyo, F., F. Bullano, J. Fornero y R. Zúñiga (2020); "Semi-Structural Forecasting Model", Documento de trabajo N° 866, Banco Central de Chile.
- Boscá, J. E., R. Domenech y J. Ferri (2011); "Search, Nash Bargaining and Rule-of-thumb Consumers", *European Economic Review*, 55 (7), pp. 927-942.
- Calvo, G. A. (1983); "Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework", *Journal of Monetary Economics*, 12(3), pp. 383-398.
- Banco Central de Chile (2017); "Evaluación de Impactos Macroeconómicos de Largo Plazo de Modificaciones al Sistema de Pensiones".
- Banco Central de Chile (2019); *La Política Monetaria del Banco Central de Chile en el Marco de Metas de Inflación*.
- Banco Central de Chile (2020); *Uso de Modelos Macroeconómicos en el Banco Central de Chile*.
- Cooley, T. F. y V. Quadrini (1999); "A Neoclassical Model of the Phillips Curve Relation", *Journal of Monetary Economics*, 44(2), pp. 165-193.
- den Haan, W. J., G. Ramey, y J. Watson (2000); "Job Destruction and Propagation of Shocks", *American Economic Review*, 90(3), pp. 482-498.
- García, B., S. Guarda, M. Kirchner y R. Tranamil (2019); "XMAS: An Extended Model for Analysis and Simulations", Documento de trabajo N° 833, Banco Central de Chile.
- García, B. y J. Guerra-Salas (2020); "On the Response of Inflation and Monetary Policy to an Immigration Shock", Documento de trabajo N° 872, Banco Central de Chile.
- García-Cicco, J. y M. García-Schmidt (2020); "A TNT DSGE Model for Chile: Explaining the ERPT", Documento de trabajo N° 868, Banco Central de Chile.
- Medina, J. P. y C. Soto (2007); "The Chilean Business Cycles Through the Lens of a Stochastic General Equilibrium Model", Documento de trabajo N° 457, Banco Central de Chile.
- Merz, M. (1995); "Search in the Labor Market and the Real Business Cycle", *Journal of Monetary Economics*, 36(2), pp. 269-300.
- Mortensen, D. T. y C. A. Pissarides (1994); "Job Creation and Job Destruction in the Theory of Unemployment", *The Review of Economic Studies*, 61(3), pp. 397-415.