



**UN MODELO RBC CON CHOQUES DE *COMMODITIES* Y REDES  
DE PRODUCCIÓN: UNA APLICACIÓN A LA ECONOMÍA  
PERUANA**

**Trabajo de Investigación Económica**

**Presentado por:**

**Joseph William Amaya Torres**

**Alexander Ronald Gómez León**

**Asesor: Luis Gonzalo Llosa Velásquez**

**Lima, octubre 2025**

## RESUMEN

Este trabajo propone una extensión del modelo RBC para una economía pequeña y abierta al incorporar redes de producción y choques de precios de *commodities*. Dichos precios, al determinarse en los mercados internacionales, son exógenos a la economía doméstica. La inclusión de redes de producción provoca que emerjan vínculos insumo-producto entre los sectores del modelo. Por un lado, el sector *commodity* demanda insumos intermedios de otros sectores, a través de lo que se denomina canal *upstream*. Por otro lado, ese mismo sector provee de insumos intermedios a otros sectores, en lo que se conoce como canal *downstream*. Se muestra que los sectores de *commodities*, especialmente el sector minero, juegan un papel importante en la propagación de choques idiosincráticos. La estrategia empírica y el modelo teórico utilizaron datos de las cuentas nacionales y tablas insumo-producto. Se halló que el canal *upstream* cumple un rol amplificador, dada la estructura de la red de producción peruana. Adicionalmente, se comparó el desempeño del modelo frente a los datos y se simuló diversos contrafactuales, con el fin de identificar otros canales de transmisión importantes.

**Palabras clave:** Ciclos económicos reales, precios de *commodities*, vínculos insumo-producto, redes de producción.

## ABSTRACT

This paper proposes an extension of the RBC model for a small open economy by incorporating production networks and commodity price shocks. Since these prices are determined in international markets, they are exogenous to the domestic economy. Including production networks gives rise to input–output linkages across the model’s sectors. On the one hand, the commodity sector demands intermediate inputs from other sectors via what is known as the upstream channel. On the other hand, that same sector supplies intermediate inputs to other sectors through the downstream channel. The analysis shows that commodity sectors, especially mining, play an important role in propagating idiosyncratic shocks. The empirical strategy and the theoretical model used national accounts and input–output tables. We found that the upstream channel plays an amplifying role, given the structure of Peru’s production network. In addition, we compared the model’s performance with the data and simulated various counterfactuals to identify other important transmission channels.

**Key words:** Real business cycles, commodity prices, input-output linkages, production networks.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del modelo empírico .....	12
Tabla 2. Calibración de principales parámetros del modelo .....	17
Tabla 3. Calibración de parámetros sectoriales.....	17
Tabla 4. Comparación spillovers upstream & downstream .....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ranking de centralidad <i>upstream</i> y <i>downstream</i> .....	10
Gráfico 2. Red de producción promedio de Perú .....	11
Gráfico 3. Matriz insumo-producto (Datos vs. Modelo).....	18
Gráfico 4. Volatilidad relativa sobre PBI (Datos vs. Modelo).....	18
Gráfico 5. Correlación con PBI (Datos vs. Modelo).....	19
Gráfico 6. Correlaciones por pares, producción sectorial (Datos vs. Modelo) .....	19
Gráfico 7. IRF: Variables agregadas (Choque de precios de commodities) .....	21
Gráfico 8. IRF: Variables sectoriales (Choque de precios a Minería) .....	22
Gráfico 9. IRF: Contrafactuales – Canales convencionales (Choque a Minería) .....	24
Gráfico 10. IRF: Contrafactuales – <i>Upstream</i> & <i>Downstream</i> (Choque a Minería).....	25

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Condiciones de primer orden.....	30
Anexo 2. Tabla de correspondencia. ....	31

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>v</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
1. Ciclos económicos en economías pequeñas y abiertas .....	2
2. Términos de intercambio vs. precios de <i>commodities</i> .....	3
3. Choques de precios de <i>commodities</i> específicos.....	4
4. Redes de producción .....	5
5. Mecanismos de transmisión .....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO ANALÍTICO Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
1. Construcción de medidas .....	10
2. Estrategia econométrica .....	11
3. Modelo teórico .....	12
3.1. Problema del Hogar .....	12
3.2. Problema de las Firmas.....	13
3.3. Sector externo .....	15
4. Choques exógenos.....	15
5. Limpieza de mercados .....	15
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
1. Calibración.....	16
2. Resultados .....	18
2.1. Simulaciones .....	18
2.2. IRF .....	20
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>29</b>

## INTRODUCCIÓN

Es común observar que economías emergentes dependen de la exportación de materias primas. En particular, se ha documentado que variables vinculadas al comercio internacional, tales como los términos de intercambio, explican de forma considerable las fluctuaciones en variables agregadas. Estas relaciones han sido exploradas por múltiples autores, tanto de forma teórica como empírica (Mendoza, 1995; Fernández et al. 2018).

Recientemente, la literatura ha dado importancia a utilizar, en lugar de índices de precios agregados, precios específicos de *commodities* (Fernández et al. 2017; Schmitt-Grohé & Uribe, 2018). De esta forma, se puede identificar con mayor claridad qué sectores primario-exportadores de la economía tienen un rol más prominente en la propagación de choques. En particular, la literatura ha estudiado precios relevantes para economías emergentes como los de los minerales, los alimentos y el petróleo (Stuermer, 2014; Catao & Chang, 2013; Montoro, 2012). Asimismo, esto permite expandir el análisis para evaluar si choques de carácter idiosincrático pueden desencadenar efectos agregados sobre la economía. Una última ventaja para modelos teóricos es que los precios de *commodities*, al determinarse en los mercados internacionales, son exógenos a otros sectores dentro de economías pequeñas y abiertas.

Silva et al. (2024), Cao & Dong (2020) y Romero (2025) explotan este último hecho estilizado para incorporar choques de precios de *commodities* en modelos con redes de producción. Estos autores identifican la importancia de la estructura de las redes de producción y los vínculos insumo-producto en la propagación de choques. Los sectores de *commodities* son tanto compradores como proveedores de insumos intermedios para otros sectores, lo cual genera efectos diferenciados aguas arriba (*upstream*) y aguas abajo (*downstream*).

Nuestra investigación presenta una extensión de un modelo RBC con redes de producción y choques de precios de *commodities*. Como primer objetivo de este trabajo, se busca calibrar el modelo para la economía peruana, utilizando datos de las cuentas nacionales y las tablas insumo-producto. De este modo, replicaremos la estructura de la red de producción peruana. Como segundo objetivo, analizaremos la importancia de los canales de transmisión del modelo en la propagación de choques de precios de *commodities*. En particular, estudiaremos su transmisión a lo largo de la red de producción y el rol que desempeñan los vínculos insumo-producto, a la par que estudiamos otros canales convencionales. Nuestra hipótesis es que los sectores de *commodities* son centrales en la red de producción peruana. Por tanto, choques idiosincráticos a estos precios, exógenos a la economía doméstica, pueden causar fluctuaciones agregadas significativas, principalmente a través de los vínculos insumo-producto con el resto de los sectores, los cuales son capturados por los canales *upstream* y *downstream*.

## CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 1. Ciclos económicos en economías pequeñas y abiertas

En un principio, los modelos de ciclos económicos reales (RBC, por sus siglas en inglés) estudiaban los efectos de choques en un contexto de economía cerrada. En ese sentido, no se daba énfasis a estudiar las dinámicas que surgen al abrir la economía. Mendoza (1991) cubre dicha área y expande la teoría RBC a un contexto de economía pequeña y abierta. Su modelo es consistente con dos regularidades empíricas: existe una correlación positiva entre inversión y ahorro, y la cuenta corriente es contracíclica. Si bien este aporte no consigue reproducir otros patrones que se observan en los datos, es una primera aproximación muy útil al análisis de los ciclos de economías emergentes.

En la literatura, se ha experimentado con distintos tipos de choques para explicar regularidades empíricas en economías pequeñas y abiertas. En primer lugar, el propio Mendoza (1995) examina cuantitativamente cuál es la conexión entre los términos de intercambio y los ciclos económicos. Se propone un modelo multisector con libre movilidad de capitales y choques a los términos de intercambio y se comparan sus resultados con los ciclos económicos reales. Así, el modelo es consistente con un tipo de cambio real fuertemente procíclico y replica una correlación positiva pero débil entre estos y la balanza comercial. Otro hallazgo importante a partir de las simulaciones es que los choques a los términos de intercambio representan alrededor del 50% de la variabilidad del PBI y del tipo de cambio real.

En segundo lugar, Neumeyer & Perri (2005) investigaron la relevancia de los choques a las tasas de interés reales. Estos autores asumen que la tasa de interés depende de choques fundamentales a la economía, por medio de un componente de riesgo país. Además, consideran que las firmas enfrentan costos de capital de trabajo, lo cual sirve como un mecanismo de amplificación del choque. El modelo, calibrado para Argentina, replica una volatilidad del consumo mayor a la del producto, además de una balanza comercial contracíclica. Estos hallazgos destacan la importancia de los canales financieros en los ciclos económicos.

En tercer lugar, Aguiar & Gopinath (2007), motivados por los frecuentes cambios de régimen político en mercados emergentes, estudian la relación de los choques a la tendencia del crecimiento con las fluctuaciones de este tipo de economías. Encontraron que el modelo replicaba características de mercados emergentes como fuerte contraciclicidad de la cuenta corriente, una volatilidad del consumo mayor a la del ingreso y el fenómeno de las *sudden stops*.

Por último, Drechsel & Tenreyro (2018) desarrollan un modelo con un sector de *commodities* donde ponen a prueba múltiples tipos de choques: choques a la productividad, a la tendencia del crecimiento, a la tasa de interés, a las preferencias y, por supuesto, a los precios del bien



*commodity*. Los autores encuentran que este último choque explica una fracción significativa de las fluctuaciones del producto, consumo e inversión.

## **2. Términos de intercambio vs. precios de *commodities***

Schmitt-Grohé & Uribe (2018) ponen a prueba la importancia de los choques en los términos de intercambio en los ciclos económicos usando modelos de vectores autorregresivos estructurales (SVAR) en 38 países emergentes. Se argumenta que los resultados de los modelos empíricos son diferentes a los que se ven en los modelos teóricos. Encontraron que, en promedio, estos choques solo explican menos del 10% del movimiento en variables agregadas. También mencionan que una mejora en el modelo empírico podría incluir el uso precios específicos de *commodities*, en vez de usar índices agregados de términos de intercambio.

Fernández et al. (2017) usan un modelo SVAR con datos de 138 países para el periodo de 1960 a 2015 en el que evalúan la transmisión, a través de precios internacionales, de choques globales a variables agregadas domésticas. Encontraron que los choques globales representan aproximadamente un tercio de las fluctuaciones agregadas. Si se usan datos después del 2000, estos choques explican en promedio el 79% del movimiento en la producción. También descubrieron que, para el país típico, la transmisión de choques mundiales se realiza mediante un único precio de *commodity* y hacia una única variable agregada.

El trabajo de Fernández et al. (2018) complementa el de Mendoza (1995) al analizar los precios de los *commodities* como una fuente de variabilidad de los términos de intercambio. En esta investigación los autores hacen 3 contribuciones. En primer lugar, documentan las propiedades cíclicas de los precios de los *commodities* en economías de mercado emergentes (EMEs). En segundo lugar, desarrollan un modelo de equilibrio dinámico y estocástico de los ciclos económicos de las EMEs. Finalmente estiman el modelo estructural usando datos de Brasil, Chile, Colombia y Perú.

En cuanto a datos empíricos, Fernández et al. (2018) encontraron que los índices de precios de *commodities* a nivel país que construyeron para las EMEs son procíclicos y dirigen el ciclo de producción, consumo e inversión. También son contracíclicos a los tipos de cambio real y a medidas de primas de riesgo externo. El modelo que construyeron es una versión de aquel de Mendoza (1991) con varias economías de mercado emergentes y extendida con nuevas dimensiones. Al estimarlo con los países mencionados a partir del año 2000, encontraron perturbaciones en precios de *commodities* explican el 42% de la varianza de la producción real. En síntesis, los avances en la literatura favorecen el uso de precios específicos de *commodities*, las cuales han mostrado un mayor poder explicativo de las fluctuaciones en economías emergentes que medidas agregadas de términos de intercambio. Por ello, la revisión de los modelos teóricos se centrará en aquellos que utilizan choques de precios de *commodities*.

### 3. Choques de precios de *commodities* específicos

Dada la relevancia empírica de los choques de precios de *commodities* específicos, es importante estudiar las diferentes dinámicas que generan los precios asociados a determinados sectores. Stuermer (2014) proporciona evidencia de largo plazo de los determinantes de precios de *commodities* minerales (cobre, plomo, estaño y zinc), utilizando un modelo SVAR con restricciones de largo plazo. Un hallazgo clave es que las fluctuaciones de estos precios se deben principalmente a choques de demanda global. Estos choques son altamente persistentes, con una duración de hasta quince años, mientras que los choques de oferta duran como máximo cinco años. Estas diferencias se deben a que los choques de demanda son causados por fluctuaciones en la producción global, las cuales se deben a procesos de rápida industrialización y causan presiones prolongadas en los precios internacionales de minerales. Un caso particularmente relevante para la economía peruana es el del superciclo de minerales de inicios de los 2000s, atribuido a la demanda de minerales por parte de China. Los choques de oferta, por su parte, responden históricamente a interrupciones transitorias generadas por prácticas monopolísticas, propias de mercados altamente concentrados, como el del estaño y el cobre en su tiempo.

La literatura también se ha enfocado en el estudio de alternativas de política monetaria en economías pequeñas y abiertas expuestas a choques de *commodities* importados, los cuales se usan intensivamente para la producción. Catao & Chang (2013) caracterizan una economía pequeña y abierta que exporta principalmente metales, e importa alimentos y petróleo mediante un modelo neo-keynesiano. Los autores se centran en comparar objetivos de estabilización del Índice de Precios al Consumidor (IPC), Índice de Precios al Productor (IPP) y precios de exportación. Se exploran variaciones del modelo al alternar entre perfecta movilidad de capitales y autarquía financiera, así como múltiples calibraciones de las elasticidades de sustitución del modelo. Un experimento y hallazgo clave para el presente trabajo es precisamente probar distintos valores de la elasticidad de sustitución de la demanda global, dada la respuesta diferenciada de los salarios reales ante choques de precios de exportación.

El trabajo de Montoro (2012) también ilustra cómo fluctuaciones en el precio del petróleo generan un trade-off significativo entre la estabilización de la inflación o del producto. Intuitivamente, el petróleo es un insumo utilizado en todos los sectores económicos, y además es difícil de sustituir. Por tanto, la calibración del modelo propuesto asume una elasticidad de sustitución baja, menor a 1, para capturar este hecho. Así, el canal de costos que se activa a raíz de un choque al precio del petróleo se amplifica cuando este insumo es más complementario con otros factores.

Para la economía peruana, nos interesa analizar la relevancia de los sectores económicos asociados a los precios de *commodities* cubiertos en esta parte de la revisión de literatura. Por tanto, nuestra metodología prestará especial atención a las industrias de minería, energía y

alimentos, a fin de identificar si son importantes en la red de producción. Además, los aportes cubiertos en este subtítulo nos dan una idea de cómo proceder, a falta de métodos más sofisticados de estimación, para la calibración de algunos de los parámetros de nuestro modelo, considerando las diferentes dinámicas que tiene cada choque de precios en persistencia, elasticidad e interacción entre factores de producción.

#### **4. Redes de producción**

Inicialmente, los modelos con redes de producción mostraron cómo choques a nivel microeconómico podían traducirse en fluctuaciones macroeconómicas. Carvalho (2010) y Acemoglu et al. (2012) enfatizan la importancia de los vínculos insumo-producto en la propagación de choques y creación de fluctuaciones agregadas. En particular, se presta atención a las asimetrías en los roles que cumplen los sectores productivos. Es decir, un sector actúa simultáneamente como comprador y proveedor, tanto directo como indirecto, de otros sectores. Cuando un sector  $i$  demanda insumos de otros sectores, la transmisión de choques hacia sus proveedores  $j$  se conoce como canal *upstream*. Análogamente, cuando un sector  $i$  vende insumos a otros sectores, la transmisión hacia sus compradores  $j$  se conoce como canal *downstream*.

Empíricamente, Acemoglu et al. (2016) y Carvalho et al. (2021) confirman el impacto agregado de shocks idiosincráticos para las economías de Estados Unidos y Japón, respectivamente. El uso de la matriz insumo-producto es clave para estudiar los vínculos entre sectores e identificar la estructura de la red de producción. A partir de dichos datos, se pueden construir múltiples indicadores para medir las conexiones, tanto directas como indirectas, entre sectores productivos.

Aportes como el de Atalay (2017) ponen énfasis en el rol de las elasticidades de sustitución dentro del modelo. Este autor muestra cómo fluctuaciones del producto pueden surgir, o bien de choques no correlacionados y bajas elasticidades de sustitución, o bien de choques correlacionados y elasticidades altas. Se encuentra que las elasticidades son bajas, lo que sugiere que son los choques sectoriales, no correlacionados, los que generan fluctuaciones agregadas significativas.

La incorporación de choques de precios de *commodities* a modelos de redes de producción en economías pequeñas y abiertas es reciente. Silva et al. (2024) estudian, además de los vínculos insumo-producto y los canales *upstream* y *downstream*, los canales convencionales de riqueza y costos. Estos autores se basan en la matriz Leontief inversa para construir una medida de centralidad del sector *commodity*. Dicha medida también se utiliza para ajustar los parámetros de participación laboral, lo cual permite cuantificar con mayor precisión la reasignación de trabajo entre sectores tras el choque. Cao & Dong (2020) también construyen un modelo para estudiar el rol de los canales *upstream* y *downstream*. Adicionalmente, analizan la influencia de movimientos en el tipo de cambio y la política monetaria como canales de transmisión.

Por su parte, Romero (2025) también estudia cómo los vínculos insumo-producto influyen en la propagación de choques de precios de *commodities*, mediante un modelo con tecnología Cobb-Douglas. Un resultado bastante interesante es que vínculos insumo-producto más fuertes generan un efecto amortiguador sobre la respuesta del producto agregado ante choques de precios de *commodities*, tanto por el canal *upstream* como por el *downstream*.

Un aspecto que merece ser explorado sobre los modelos de redes de producción son los supuestos sobre las preferencias y la función de producción. Carvalho & Tahbaz-Salehi (2018) muestran que, dadas las propiedades de una Cobb-Douglas, esta función de producción elimina el canal *upstream* tanto en precios como en cantidades. Por tanto, los autores favorecen el uso de funciones de producción y preferencias más generales, ante lo cual argumentan que se pueden encontrar patrones de propagación más diversos. Particularmente, hacen uso de tecnologías CES anidadas. Cao & Dong (2020) utilizan tanto preferencias como tecnologías CES, mientras que Silva et al. (2024) asume preferencias Cobb-Douglas y tecnologías CES anidadas. Por su parte, Romero (2025) asume inicialmente una tecnología Cobb-Douglas, pero luego evalúa también el caso de una CES para distintos valores de la elasticidad de sustitución.

Para el presente trabajo, se trabajará con preferencias y tecnologías CES anidadas y se prestará especial atención a las elasticidades de sustitución. Dado que se requieren métodos de estimación más complejos para calibrar estos parámetros adecuadamente, se optará por experimentar con distintos valores arbitrarios, en un ejercicio similar al que hacen los autores de varios de los trabajos cubiertos en esta revisión.

Otra discusión interesante en esta rama de la literatura es el uso de distintas medidas que capturan los vínculos insumo-producto. En principio, se pueden construir indicadores *upstream* y *downstream* a partir de los valores de ventas hacia y desde los sectores de *commodities*.

$$Upstream_i = \sum_{j \neq i}^N \frac{P_j M_{j \rightarrow i}}{P_j Q_j} \quad Downstream_i = \sum_{j \neq i}^N \frac{P_i M_{i \rightarrow j}}{P_j Q_j}$$

En este caso,  $Upstream_i$  mide la importancia de un sector  $j$  como proveedor del sector  $i$  mediante el porcentaje de las ventas de  $j$  que se destinan a  $i$ . Por su parte,  $Downstream_i$  mide la importancia de un sector  $j$  como cliente del sector  $i$  mediante el porcentaje de las ventas de  $i$  que se destinan a  $j$  respecto de la producción de  $j$ . Esta medida se utiliza en Acemoglu (2012) y Romero (2025). No obstante, uno puede argumentar que, dada la estructura de la red de producción, existen no solo vínculos directos, sino también indirectos entre sectores. Incorporar los vínculos indirectos permitiría a los indicadores capturar efectos de segunda vuelta, por lo que Silva et al. (2024) utilizan la teoría de la matriz insumo-producto para construir medidas basadas en la matriz Leontief inversa.

$$\widehat{Upstream}_i = \sum_{j=1}^N \phi_{ij} \quad \widehat{Downstream}_i = \sum_{j=1}^N \psi_{ij}$$

donde  $\phi_{ij}$  es la importancia del sector  $i$  como comprador directo e indirecto del proveedor  $j$  y  $\psi_{ij}$  es la importancia del sector  $i$  como vendedor directo e indirecto del cliente  $j$ , ambos son elementos de:

$$\Phi = (\mathbb{I} - \Omega)^{-1} \quad \Psi = (\mathbb{I} - \Pi)^{-1}$$

donde  $\omega_{ji} = \frac{P_j M_{ji}}{P_j Q_j}$  y  $\pi_{ij} = \frac{P_i M_{ij}}{P_j Q_j}$  son elementos de  $\Omega$  y  $\Pi$ , respectivamente. En este caso,  $\widehat{Upstream}_i$  y  $\widehat{Downstream}_i$  son medidas más completas.  $\widehat{Upstream}_i$  se interpreta como el valor de la producción que se requiere, tanto de forma directa e indirecta, de todos los sectores  $j$  para producir una unidad monetaria adicional de producción del sector  $i$ .  $\widehat{Downstream}_i$  viene a ser el valor de la producción en el sector  $i$  que se requiere, tanto de forma directa e indirecta, para producir una unidad monetaria adicional de producción en cada uno de los sectores  $j$ . Estas medidas nos indican la centralidad de un sector  $i$  como cliente y proveedor de toda la red de producción, respectivamente. Por tanto, se utilizará esta versión de los indicadores para determinar si los sectores de *commodities* son centrales en la economía peruana.

Por último, otro segmento de la literatura se ha centrado en analizar el rol de diversas fricciones dentro de las redes de producción, las cuales propician decisiones dinámicas de las firmas. Huneus (2020) explica que, en mercados de insumos intermedios, las firmas no siempre pueden ajustar sus vínculos con otras. No obstante, apenas tengan la oportunidad, las firmas deciden endógenamente qué vínculos crear o romper, lo que hace que su decisión de ajustar vínculos se vuelva *forward-looking*. Como hallazgo clave, se encuentra que la presencia de estas fricciones de ajuste actúa como un amplificador de choques internacionales. Recientemente, Leng et al. (2025) desarrollan un modelo de redes de producción con fricciones *time-to-build*, heterogéneas por sector. Los sectores *upstream* enfrentan mayores fricciones temporales, por lo que su decisión de producción se vuelve dinámica, ya que responde a expectativas sobre la demanda futura, más que a movimientos en la demanda actual. Los autores muestran que el modelo replica lo que se conoce como el efecto látigo, el cual es empírica y cuantitativamente significativo. Este efecto surge cuando choques de demanda en sectores *downstream*, más cercanos a los bienes finales, se amplifican a medida que se propagan hacia sectores *upstream*, generando mayor volatilidad en las primeras etapas de la cadena de suministro.

## 5. Mecanismos de transmisión

La literatura ha examinado el rol de los sectores productivos en la propagación de choques. Corden & Neary (1982) fueron pioneros en el análisis, mediante un modelo, de la conocida “enfermedad holandesa”. Concretamente, identificaron dos efectos: el *resource movement effect* y el *spending effect*.

En primer lugar, el *resource movement effect* describe cómo un sector en auge induce un aumento en los salarios al incrementar su demanda de trabajo. En consecuencia, hay una reasignación hacia dicho sector, lo cual provoca una desindustrialización en los otros sectores. Este mecanismo es también llamado el canal de costos.

En segundo lugar, el *spending effect* observado por Corden & Neary (1982) implica un aumento del ingreso de la economía debido al boom. Ello impulsa la demanda doméstica y también provoca una reasignación de factores, especialmente hacia sectores no transables. Este es un ejemplo clásico del canal de riqueza o *wealth channel*. Dicha intuición también se cumple para el caso de un choque de precios de *commodities* en una economía pequeña y abierta.

En tercer lugar, en línea con aportes en la literatura macroeconómica reciente, se ha explorado el rol de las fricciones financieras en la transmisión de choques de precios de *commodities*. Shousha (2016) desarrolla un modelo para una economía pequeña y abierta con intermediarios financieros, donde asume que la tasa de interés incluye un componente que depende negativamente del precio del *commodity*. Empíricamente, ante un boom de *commodities*, economías primario exportadores observan apreciaciones cambiarias, mayores entradas de capitales y una caída en el riesgo país. Este canal de prima por riesgo de la tasa de interés es solo uno de los cuatro canales que estudia Shousha, quien también incluye *working capital*, acelerador financiero y desajustes en la hoja de balance de los bancos. Se encuentra que la interacción entre la prima por riesgo de la tasa de interés y el *working capital* constituye el principal mecanismo de transmisión en el modelo, mientras que los otros dos canales no son cuantitativamente tan relevantes. Para propósitos de tractabilidad, no se incluirá un canal financiero en el modelo teórico propuesto, principalmente por la complejidad adicional que implicaría incorporar intermediarios financieros.

En cuarto lugar, múltiples autores (Carvalho, 2010; Acemoglu, 2012; Cao & Dong, 2020; Silva et al., 2024; Romero, 2025) identifican los dos canales que originan de las redes de producción: *downstream* y *upstream*. Cuando se asume que el bien producido por un sector se puede usar como insumo intermedio de otro sector, emerge un nuevo canal de costos. En particular, cuando aumenta el precio del bien producido en un sector de *commodities*, este se hace más costoso para sus clientes, aquellos sectores que lo usan como insumo intermedio. Este efecto es capturado por el canal *downstream*.

En quinto lugar, se tiene que un aumento de exportaciones y precios en el sector de *commodities*, producto de un choque de demanda global, induce una expansión en la demanda de insumos intermedios de este sector. Entonces, los sectores que proveen insumos al sector de *commodities* incrementan su producción. Por tanto, este efecto positivo sobre la producción es capturado por el canal *upstream*.

Por último, se encuentra el canal de sustitución insumo-producto, también presente en modelos de redes de producción. Dado que un sector cualquiera requiere insumos intermedios de múltiples otros sectores, estos pueden reajustar su demanda intermedia ante cambios en precios de insumos. Silva et al. (2024) destacan la importancia de las elasticidades de sustitución y la estructura de la red de producción para identificar este canal.

Los resultados presentados por la literatura difieren en la importancia de algunos canales en la transmisión de choques de precios de *commodities*. Silva et al. (2024) calibran el modelo para la economía de Australia. Por un lado, destacan la importancia del efecto *upstream* sobre el producto de sectores que proveen insumos intermedios al sector *commodity*, con lo cual encuentran un efecto amplificador. Por otro lado, estos autores encuentran que el efecto *downstream* solo provoca cambios en los precios de sectores que demandan insumos del sector *commodity*, mas no efectos sobre la producción. Contrariamente, Cao & Dong (2020) hacen lo propio para Canadá y encuentran que el efecto *downstream* sí actúa sobre cantidades. Inclusive, este efecto es más importante para explicar los ajustes ante choques, mientras que el efecto *upstream* es relativamente débil. Al respecto, Romero (2025) encuentra que ambos canales no actúan como amplificadores, sino como amortiguadores. Intuitivamente, un aumento en el precio de *commodities* eleva el costo marginal de aquellos sectores clientes (*downstream*) del sector *commodity*, por lo que el precio de estos sectores aumenta. A su vez, estos sectores también son proveedores (*upstream*) del sector *commodity*, por lo que este sector también experimenta un aumento en sus costos marginales. Dado que el precio del sector *commodity* se determina en mercados internacionales, este responde demandando menos insumos y produciendo menos, con lo cual hay un efecto que se contrapone al típico canal de riqueza y que actúa como amortiguador. Si bien no existe un consenso en la literatura cuál de los canales es más relevante y si estos generan amplificación o amortiguación, aportes previos afirman que los vínculos insumo-producto importan en la transmisión de choques de precios de *commodities*. Naturalmente, se espera que los resultados varíen debido a que los modelos son calibrados para economías con distintas estructuras de la red de producción.

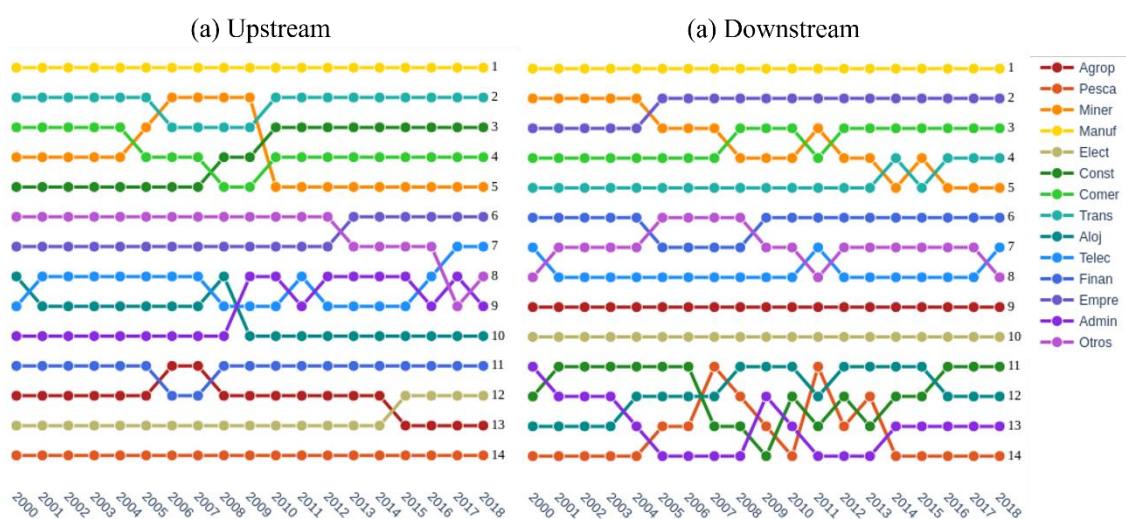
El principal aporte del presente trabajo radica en identificar los mecanismos de transmisión más importantes para Perú. Por este motivo, se busca medir la importancia de cada uno de los canales en la propagación de los choques de precios de *commodities*, poniendo especial énfasis en aquellos que surgen gracias a la estructura de la red de producción: los canales *upstream*, *downstream* y sustitución insumo-producto. Contar con una calibración adecuada para los parámetros del modelo teórico es fundamental, ya que estos capturan los vínculos insumo-producto y la intensidad en factores de cada sector.

## CAPÍTULO II. MARCO ANALÍTICO Y METODOLOGÍA

### 1. Construcción de medidas

En primer lugar, se busca motivar la incorporación del análisis insumo-producto y los mecanismos *upstream* y *downstream*. Para ello, nos interesa hallar si los sectores de *commodities* son centrales en la red de producción de la economía peruana. En esa línea, se calculan las medidas  $Upstream_i$  y  $Downstream_i$  propuestas por Silva et al. (2024) para construir un *ranking* de centralidad (Ver Gráfico 1).

Gráfico 1. Ranking de centralidad *upstream* y *downstream*



Elaboración propia. Fuente: OCDE.

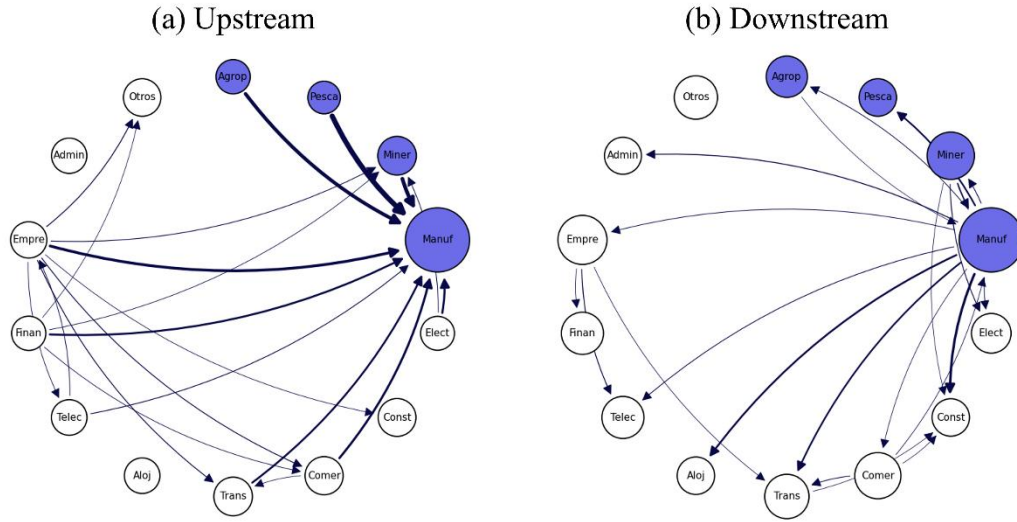
En general, los *rankings* mantienen cierta estabilidad a lo largo de la muestra. Se aprecia que el sector Manufactura se mantiene consistentemente como el más importante como cliente (*upstream*) y como proveedor (*downstream*) de otros sectores. El siguiente es el sector Minería, el cual desde 2009 perdió importancia relativa (pasó de segundo lugar a quinto) como cliente del resto de la economía. Similarmente, en el caso del canal *downstream*, el sector Minería gradualmente cae en el ranking. No obstante, en ambos casos el sector Minería mantiene cierta importancia. Por su parte, los sectores Agropecuario y Pesca, no llegan a ser centrales en la red de producción durante el horizonte observado.

Adicionalmente, el Gráfico 2 presenta una representación visual de la red de producción promedio de Perú. Se usan las medidas previamente construidas para mostrar los vínculos más fuertes entre sectores, en concreto, aquellos mayores a un umbral de 0,10. El tamaño de los nodos mide la centralidad total, cuyos valores fueron utilizados para el *ranking*. Para el canal *upstream*, cuantas más flechas tenga un sector apuntando hacia sí mismo, más importante es como cliente de la red de producción. Análogamente, para el canal *downstream*, cuantas más flechas tenga apuntando hacia otros sectores, más importante es como proveedor de la red producción. Se puede



notar que, además de Manufactura, el sector Minería también mantiene vínculos relevantes. Respecto del canal *upstream*, Minería demanda insumos directa e indirectamente de los sectores Electricidad y agua, Servicios prestados a empresas y Servicios financieros; respecto del *downstream*, provee insumos directa e indirectamente a los sectores Manufactura, Construcción y Transporte.

Gráfico 2. Red de producción promedio de Perú



Elaboración propia. Fuente: OCDE.

## 2. Estrategia econométrica

A fin de determinar la importancia de los canales *upstream* y *downstream* en la propagación de choques de precios de *commodities*, se realiza un breve ejercicio empírico, similar a aquel desarrollado por Silva et al. (2024). La especificación es la siguiente:

$$\Delta \log Y_{it} = \alpha + \phi \Delta P_{it}^{UP} + \psi \Delta P_{it}^{DOWN} + \gamma' X_{it-1} + \eta_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

donde  $\Delta \log Y_{it} = \{\Delta \log Q_{it}, \Delta \log P_{it}\}$  es la desviación logarítmica del PBI o los precios (deflactor) del sector  $i$ , respecto de su tendencia.  $\eta_i$  &  $\delta_t$  son efectos fijos a nivel de sector y tiempo.  $\Delta P_{it}^{UP}$  &  $\Delta P_{it}^{DOWN}$  son medidas de spillover *upstream* y *downstream* hacia la red de producción, las cuales se obtienen al interactuar las medidas  $\widehat{Upstream}_i$  &  $\widehat{Downstream}_i$  mencionadas anteriormente con choques de precios de *commodities*  $\hat{\mu}_t$ . Estos choques se definen como los residuos de la estimación de un AR(1), como en Schmitt-Grohé & Uribe (2018):

$$\Delta \log p_{kt}^* = \alpha + \rho \Delta \log p_{kt-1}^* + \mu_{kt}$$

donde  $\Delta \log p_{kt}^*$  es la desviación logarítmica del precio del *commodity*  $k$ . Los resultados indican que el canal *upstream* tiene un efecto significativo sobre el producto, en concreto, un efecto

amplificador ( $\phi > 0$ ). Es interesante notar también que el canal *upstream* presenta, en principio, un efecto negativo rezagado sobre los precios ( $\psi < 0$ ). (Ver Tabla 1):

Tabla 1. Resultados del modelo empírico

	(1) $\Delta \log Q_{it}$	(2) $\Delta \log P_{it}$
$\Delta P_{it}^{UP}$	0.0748** (0.0288)	-0.0438 (0.0980)
$\Delta P_{it-1}^{UP}$	0.146** (0.0573)	-0.0160 (0.0197)
$\Delta P_{it}^{DOWN}$	-0.320 (0.666)	0.0610 (0.137)
$\Delta P_{it-1}^{DOWN}$	1.004 (0.917)	-0.641** (0.0769)
Constante	0.0255** (0.01000)	0.0507*** (0.00710)
Observaciones	1050	1050

Errores estándar clusterizados entre paréntesis

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

La intuición para el resultado del canal *upstream* es directa: cuando el sector *commodity* experimenta un *boom* de precios debido a una mayor demanda externa, este incrementa su demanda de insumos intermedios del resto de sectores de la red, creando amplificación hacia sectores proveedores. Por el lado del efecto en precios, el efecto negativo podría asociarse a que, junto al *boom* de *commodities*, la economía experimenta una apreciación cambiaria que abarata costos de insumos importados, y haciendo precios de bienes importados más competitivos, lo cual induce presiones a la baja en precios de sectores *upstream*. De todos modos, hay margen para mejorar la medición de los precios en este ejercicio, utilizando otras medidas además del deflactor del PBI sectorial. Respecto del canal *downstream*, no parece haber efectos significativos sobre cantidades ni precios.

### 3. Modelo teórico

A continuación, se propone una extensión del modelo RBC para una economía pequeña y abierta, el cual incluye una estructura de red de producción en el problema de las firmas y sectores de *commodities* sujetos a choques de precios internacionales y choques de demanda externa.

#### 3.1. Problema del Hogar

El hogar representativo enfrenta un problema intertemporal donde maximiza su utilidad vitalicia:

$$\max_{\{C_t, B_{t+1}, L_t, K_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} \mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \xi L_t \right]$$

s.a.

$$\begin{aligned} P_t^C C_t + P_t^I I_t + B_{t+1} + s_t B_{t+1}^* &\leq W_t L_t + R_t P_t^I K_t + (1 + r_t) B_t + (1 + r_t^*) \Psi(\tilde{B}_t^*) s_t B_t^* + T_t \\ T_t &= B_{t+1} - (1 + r_t) B_t \\ I_t &= K_{t+1} - (1 - \delta) K_t \end{aligned}$$

donde  $C_t$  es la canasta de consumo agregado,  $P_t^C$  es su índice de precios,  $B_{t+1}$  es el stock de bonos no contingentes denominado en moneda nacional, mientras que  $B_{t+1}^*$  son los bonos denominados en moneda extranjera.  $T_t$  son transferencias de suma alzada del gobierno, el cual se asume mantiene un presupuesto balanceado. Para asegurar la estacionariedad del modelo, se incluye una prima por riesgo en la tasa de interés que depende del stock promedio de bonos en moneda extranjera  $\Psi(\tilde{B}_t^*)$ .  $I_t$  es la inversión agregada,  $P_t^I$  es su índice de precios y  $K_{t+1}$  es el capital.  $L_t$  es la oferta total de trabajo,  $W_t$  es el salario,  $R_t$  es el precio de alquiler del capital,  $r_t$  es la tasa de interés doméstica,  $r_t^*$  es la tasa de interés extranjera.

El hogar resuelve también un problema intratemporal que consta de minimizar su gasto:

$$\begin{aligned} P_t^C C_t &= \min_{\{C_{i,t}^D, C_{i,t}^M\}} P_{i,t}^{C,D} C_{i,t}^D + P_{i,t}^{C,M} C_{i,t}^M \\ \text{s.a. } C_t &= \left( \pi^{\frac{1}{\lambda}} (C_t^D)^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} + (1 - \pi)^{\frac{1}{\lambda}} (C_t^M)^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} \right)^{\frac{\lambda}{\lambda-1}} \end{aligned}$$

donde  $C_{i,t}^D$  es la canasta de consumo de bienes domésticos,  $C_{i,t}^M$  es la canasta de consumo de bienes importados,  $\pi$  es un parámetro de *home bias* y  $\lambda$  es la elasticidad de sustitución entre consumo doméstico e importado. A su vez, cada canasta se compone según:

$$C_t^w = \left( \sum_{i=1}^{N+Q} (\gamma_i^w)^{\frac{1}{\tau_i^w}} (C_{i,t}^w)^{\frac{\tau_i^w-1}{\tau_i^w}} \right)^{\frac{\tau_i^w}{\tau_i^w-1}}$$

donde  $\gamma_i^w$  es la proporción de gasto en consumo del bien del sector  $i$  de origen  $w$  y  $\tau_i$  es la elasticidad de sustitución entre sectores.

Las condiciones de primer orden se encuentran en el Anexo 1.

### 3.2. Problema de las Firmas

Existen  $N + Q$  sectores en la economía,  $N$  sectores no vinculados a *commodities* y  $Q$  sectores de *commodities*. Cada sector produce un único bien, el cual puede ser parte de la demanda final o como insumo intermedio, según la siguiente función de producción CES:

$$Y_{i,t} = A_{i,t} \left( v_i^{\frac{1}{\theta_i}} \left( \left( \frac{K_{i,t}}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \left( \frac{L_{i,t}}{1 - \alpha_i} \right)^{1 - \alpha_i} \right)^{\frac{\theta_i - 1}{\theta_i}} + (1 - v_i)^{\frac{1}{\theta_i}} (M_{i,t})^{\frac{\theta_i - 1}{\theta_i}} \right)^{\frac{\theta_i}{\theta_i - 1}}$$

donde  $A_{i,t}$  es la Productividad Total de Factores,  $v_i$  es la participación del valor agregado en la producción,  $\alpha_i$  es la participación del capital en el valor agregado,  $\theta_i$  es la elasticidad de sustitución entre valor agregado e insumos intermedios totales  $M_{i,t}$ . Estos, a su vez, se componen según:

$$M_{i,t} = \left( \omega_i^{\frac{1}{\epsilon_i}} (M_{i,t}^D)^{\frac{\epsilon_i-1}{\epsilon_i}} + (1 - \omega_i)^{\frac{1}{\epsilon_i}} (M_{i,t}^M)^{\frac{\epsilon_i-1}{\epsilon_i}} \right)^{\frac{\epsilon_i}{\epsilon_i-1}}$$

donde  $M_{i,t}^D$  es la canasta de insumos intermedios domésticos,  $M_{i,t}^M$  es la canasta de insumos intermedios importados,  $\omega_i^D$  es la proporción de gasto en insumos intermedios domésticos y  $\epsilon_i$  es la elasticidad de sustitución entre insumos intermedios domésticos e importados. A su vez, cada canasta se compone según:

$$M_{i,t}^w = \left( \sum_{j=1}^{N+Q} (\mu_{ij}^w)^{\frac{1}{\vartheta_i^w}} (M_{ij,t}^w)^{\frac{\vartheta_i^w-1}{\vartheta_i^w}} \right)^{\frac{\vartheta_i^w}{\vartheta_i^w-1}}$$

para  $w = \{D, M\}$ , donde  $\sum_{j=1}^{N+Q} \mu_{ij}^w = 1$ ,  $\mu_{ij}^w$  es la proporción de gasto del sector  $i$  en el bien intermedio  $j$  de origen  $w$ ,  $M_{ij,t}^w$  es el insumo intermedio de origen  $w$  producido por  $j$  y requerido por  $i$  y  $\vartheta_i^w$  es la elasticidad de sustitución entre insumos intermedios.

Adicionalmente, se tiene un agregador de inversión  $I_t$ , según:

$$I_t = \left( \sum_{i=1}^{N+Q} \left( (\eta_i^D)^{\frac{1}{\iota_i}} (I_{i,t}^D)^{\frac{\iota_i-1}{\iota_i}} + (\eta_i^M)^{\frac{1}{\iota_i}} (I_{i,t}^M)^{\frac{\iota_i-1}{\iota_i}} \right) \right)^{\frac{\iota_i}{\iota_i-1}}$$

El problema se puede resolver como una minimización de costos anidada: primero, se escoge capital y trabajo (para el valor agregado  $V_i$ ); luego, valor agregado e insumos intermedios; después, insumos domésticos e importados; y, por último, insumos de los  $N + Q$  sectores:

$$\begin{aligned} CMg_i Y_i &= \min_{\{V_i, M_i\}} P_i^V V_i + P_i^M M_i \text{ s. a. Ec. } Y_i \\ P_i^V V_i &= \min_{\{L_i, K_i\}} W_i L_i + R_t P_t^I K_i \text{ s. a. } V_i = \left( \frac{K_{i,t}}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \left( \frac{L_{i,t}}{1-\alpha_i} \right)^{1-\alpha_i} \\ P_i^M M_i &= \min_{\{M_i^D, M_i^M\}} P_i^{M,D} M_i^D + P_i^{M,M} M_i^M \text{ s. a. Ec. } M_i \\ P_i^{M,D} M_i^D &= \min_{\{M_{ij}^D\}_{j=1}^{N+Q}} \sum_{j=1}^{N+Q} P_j M_{ij}^D \text{ s. a. Ec. } M_i^D \\ P_i^{M,M} M_i^M &= \min_{\{M_{ij}^M\}_{j=1}^{N+Q}} \sum_{j=1}^{N+Q} P_{jM} M_{ij}^M \text{ s. a. Ec. } M_i^M \\ P_t^I I_t &= \min_{\{I_i^D, I_i^M\}_{i=1}^{N+Q}} \sum_{i=1}^{N+Q} P_i I_i^D + P_{iM} I_i^M \text{ s. a. Ec. } I_t \end{aligned}$$

Las condiciones de primer orden se encuentran en el Anexo 1.

### 3.3. Sector externo

Los bienes *commodity* son demandados por el exterior según la siguiente función:

$$X_{Q,t} = \gamma_Q^* \left( \frac{P_{Q,t}^Y}{s_t P_{Q,t}^*} \right)^{-\chi} D_t^*$$

donde  $\gamma_Q^*$  es la proporción de gasto en el bien *commodity* exportado por la economía extranjera,  $P_{Q,t}^*$  es el precio del bien *commodity* en unidades de moneda extranjera,  $\chi$  es la elasticidad de demanda externa y  $D_t^*$  es un determinante de demanda extranjera exógeno.

Se asume que la Ley del Precio Único se cumple para los bienes *commodity* y los bienes importables:

$$P_{Q,t} = s_t P_{Q,t}^*; P_{M,t} = s_t P_{M,t}^*$$

Por tanto, el precio de los bienes *commodity* en unidades del bien importable es exógeno:

$$\frac{P_{Q,t}}{P_{M,t}} = \frac{s_t P_{Q,t}^*}{s_t P_{M,t}^*} = \frac{P_{Q,t}^*}{P_{M,t}^*}$$

Esto se debe a que los precios  $P_{Q,t}^*$  y  $P_{M,t}^*$  son determinados en los mercados internacionales. Luego, sea  $s_t$  el numerario, se normaliza  $P_{M,t}^* = 1$  tal que  $P_{M,t} = s_t$ . Así, cambios en el precio de los bienes *commodity* son cambios en precios relativos.

### 4. Choques exógenos

Se asume un proceso AR(1) en logaritmos para  $A_{it}$ ,  $P_{Q,t}^*$  y  $D_t^*$ :

$$\begin{aligned} \log A_{it} &= \rho_i^A \log A_{it-1} + \varepsilon_{A,t} \\ \log P_{Q,t}^* &= \rho_Q \log P_{Q,t-1}^* + \varphi^Q \log D_t^* + \varepsilon_{Q,t} \\ \log D_t^* &= \rho_D \log D_{t-1}^* + \varepsilon_{D,t} \end{aligned}$$

En línea con la revisión de literatura sobre choques de precios de commodities específicos, esta especificación nos permite estudiar tanto choques únicos ( $\varepsilon_{Q,t}$ ) como de demanda externa ( $\varepsilon_{D,t}$ ).

### 5. Limpieza de mercados

Se tienen las siguientes condiciones de limpieza de mercado:

$$\begin{aligned} Y_{i,t} &= C_{i,t}^D + I_{i,t}^D + X_{i,t} + \sum_{j=1}^{N+Q} M_{ji,t}^D \\ Im_{i,t} &= C_{i,t}^M + I_{i,t}^M + \sum_{j=1}^{N+Q} M_{ji,t}^M \\ L_t &= \sum_{i=1}^{N+Q} L_{i,t} \\ K_t &= \sum_{i=1}^{N+Q} K_{i,t} \\ B_{t+1}^* - (1 + r_t) B_t^* &= \underbrace{\sum_{i=1}^{N+Q} P_{i,t} X_{i,t} - \sum_{j=1}^{N+Q} P_{jM,t} (C_{i,t}^M + I_{i,t}^M + \sum_{j=1}^{N+Q} M_{ji,t}^M)}_{\text{Balanza Comercial}} \end{aligned}$$

En orden, se encuentran las condiciones de limpieza de los mercados de bienes *non-commodity*, de los mercados de bienes *commodity*, del mercado laboral, del mercado de capital y la evolución de los activos externos netos.

El modelo será resuelto en Dynare. Dado que se tienen preferencias y tecnología CES, no se puede obtener una solución cerrada para el estado estacionario, con lo cual optará por una solución numérica. Dada la similitud del modelo propuesto con aquel de Cao & Dong (2024), emplearemos el código de libre acceso de estos autores como punto de partida. Las principales herramientas de análisis serán las funciones impulso-respuesta y los estadísticos que reporta Dynare tras simular el modelo.

Para la calibración, se utilizarán las tablas insumo-producto de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y las cuentas nacionales reportadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), concretamente, los Cuadros de Oferta y Utilización, tanto su versión nominal como real. Para ambas fuentes de datos, se toma el intervalo 2008-2018. El nivel de agregación del modelo será el de las cuentas nacionales, es decir, 14 sectores. Se cuenta también con una tabla de correspondencia entre las industrias de las tablas insumo producto de la OCDE y las cuentas nacionales del INEI (Ver Anexo 2).

El proceso de calibración de algunos parámetros requiere el uso de métodos más demandantes en cuanto tiempo y capacidad computacional. Por tanto, se clasifican los parámetros en dos grupos: aquellos que serán calibrados usando las bases de datos propuestas y otras fuentes oportunas, y aquellos que servirán para algunos experimentos que permitan ilustrar mejor el funcionamiento de los canales de transmisión del modelo. En ese sentido, este último grupo de parámetros, donde se encuentran principalmente las elasticidades de sustitución y las persistencias de los choques, tomarán valores similares a aquellos empleados en los ejercicios que hacen los autores en la literatura revisada.

### **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **1. Calibración**

Los resultados de la calibración de los principales parámetros para el modelo trimestral se muestran en la Tabla 2. Como punto de partida, se asumen elasticidades de sustitución iguales a 1, con lo cual las agregaciones CES colapsan al caso de una función Cobb-Douglas. Los parámetros sectoriales, calibrados con las tablas insumo-producto de la OCDE y las cuentas nacionales de INEI, figuran en la Tabla 3.

Tabla 2. Calibración de principales parámetros del modelo

Parámetro	Valor	Descripción	Nota
$\beta$	0.995	Factor de descuento	Replica tasa de interés de 0,5%.
$\sigma$	2.000	Inversa de la ESI	Supuesto
$\xi$	1.000	Desutilidad del trabajo	Supuesto por simplificación
$\delta$	0.025	Depreciación del capital	Estándar
$\psi$	0.050	Prima por riesgo	Replica $TB_{ss}/PBI_{ss}$ de 1,6%.
$\lambda, \tau_i^D, \tau_i^M, \theta_i$	1.000	ES del consumo	<i>Benchmark</i>
$\epsilon_i, \vartheta_i^D, \vartheta_i^M, \iota$	1.000	ES del producto	<i>Benchmark</i>
$\rho_Q, \rho_D, \sigma_Q, \sigma_D$	Varios	Choques externos	Calibración propia
$\chi$	1.000	ES de las exportaciones	<i>Benchmark</i>
$\varphi_Q$	0.150	Sensibilidad a demanda externa	Silva et al. (2024)

Tabla 3. Calibración de parámetros sectoriales

		$\pi\gamma_i^D$	$(1-\pi)\gamma_i^M$	$v_i$	$\alpha_i$	$\eta_i^D$	$\eta_i^M$	$\rho_i^A$
ID	Sector	C. dom.	C. importado	VA	Capital	I. dom.	I. importada	PTF
01	Agrop	0.914	0.086	0.710	0.049	0.914	0.086	0.479
02	Pesca	0.990	0.010	0.628	0.519	0.990	0.010	0.223
03	Miner	0.828	0.172	0.642	0.764	0.828	0.172	0.608
04	Manuf	0.758	0.242	0.326	0.547	0.758	0.242	0.854
05	Elect	0.996	0.004	0.582	0.787	0.996	0.004	0.805
06	Const	0.930	0.070	0.493	0.454	0.930	0.070	0.542
07	Comer	0.855	0.145	0.648	0.317	0.855	0.145	0.753
08	Trans	0.887	0.113	0.441	0.281	0.887	0.113	0.500
09	Aloja	0.946	0.054	0.504	0.186	0.946	0.054	0.500
10	Telec	0.884	0.116	0.420	0.603	0.884	0.116	0.500
11	Finan	0.875	0.125	0.665	0.647	0.875	0.125	0.817
12	Empre	0.847	0.153	0.573	0.361	0.847	0.153	0.500
13	Admin	0.997	0.003	0.583	0.177	0.997	0.003	0.500
14	Otros	0.983	0.017	0.743	0.390	0.983	0.017	0.789

Nota: Persistencia de choques de productividad sectoriales obtenidas de Céspedes et al. (2014).

Por último, las proporciones de gasto en insumos intermedios ( $14 \times 14 \times 2 = 392$  parámetros) fueron calibradas dado que, de las condiciones de primer orden:

$$\omega_i \mu_{ij}^D = \frac{P_i^{M,D} M_i^D}{P_i^M M_i} \frac{P_j M_{ij}^D}{P_i^{M,D} M_i^D} = \frac{P_j M_{ij}^D}{P_i^M M_i} \wedge (1 - \omega_i) \mu_{ij}^M = \frac{P_i^{M,M} M_i^M}{P_i^M M_i} \frac{P_j M_{ij}^M}{P_i^{M,M} M_i^M} = \frac{P_j M_{ij}^M}{P_i^M M_i}$$

El gasto del sector  $i$  por el insumo  $j$ , ya sea doméstico ( $P_j M_{ij}^D$ ) o extranjero ( $P_j M_{ij}^M$ ), así como el gasto total en insumos intermedios del sector  $i$  ( $P_i^M M_i$ ) se obtienen de las tablas insumo-producto de la OCDE. Los resultados de la calibración se muestran en

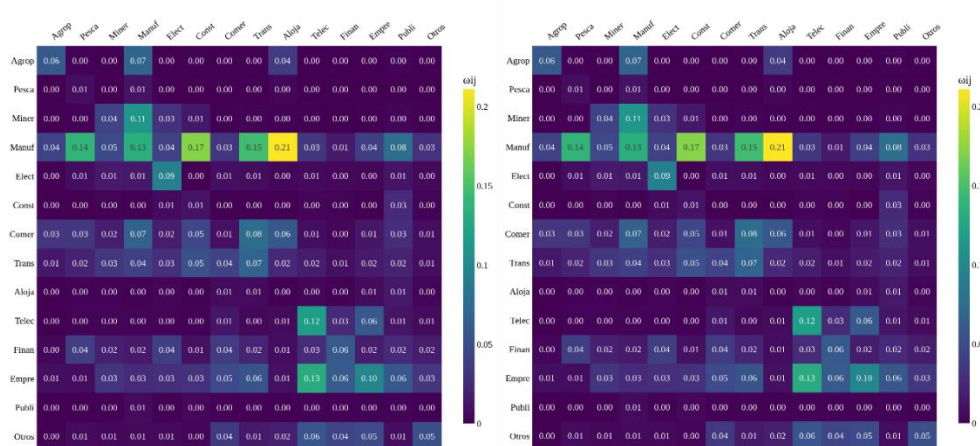
Es importante aclarar que el archivo .mod utilizado para la simulación del modelo definía las ecuaciones en su versión log-linealizada. En consecuencia, emergen más parámetros, tales como proporciones de estado estacionario en las identidades contables, producto del procedimiento de log-linealización, que también han sido calibrados.

## 2. Resultados

### 2.1. Simulaciones

Se simuló el modelo a fin de poder comparar estadísticos relevantes con los datos. En primer lugar, en el Gráfico 3 se presentan las matrices insumo-producto de los datos (izquierda, ratios promedio) y del modelo (derecha, ratios de estado estacionario). Evidentemente, dado que la calibración de parámetros sectoriales tiene como objetivo replicar la estructura de la red de producción, estas son idénticas.

Gráfico 3. Matriz insumo-producto (Datos vs. Modelo)



En segundo lugar, el Gráfico 4 presenta las volatilidades relativas de las variables sectoriales y agregadas para los datos y el modelo respecto al PBI agregado. Se logra replicar con cierta precisión la volatilidad de variables agregadas, excepto importaciones. No obstante, el modelo no captura la alta volatilidad de algunos sectores de servicios. Futuras extensiones podrían considerar elasticidades de sustitución de estas variables diferenciadas por sector, así como un ejercicio de estimación más profundo para poder acercarse más a los datos.

Gráfico 4. Volatilidad relativa sobre PBI (Datos vs. Modelo)

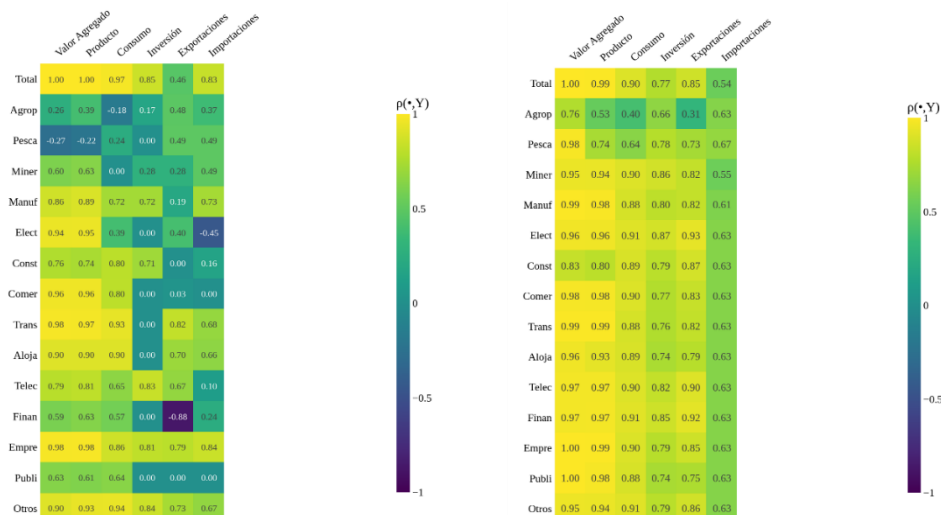




Gráfico 5. Correlación con PBI (Datos vs. Modelo)

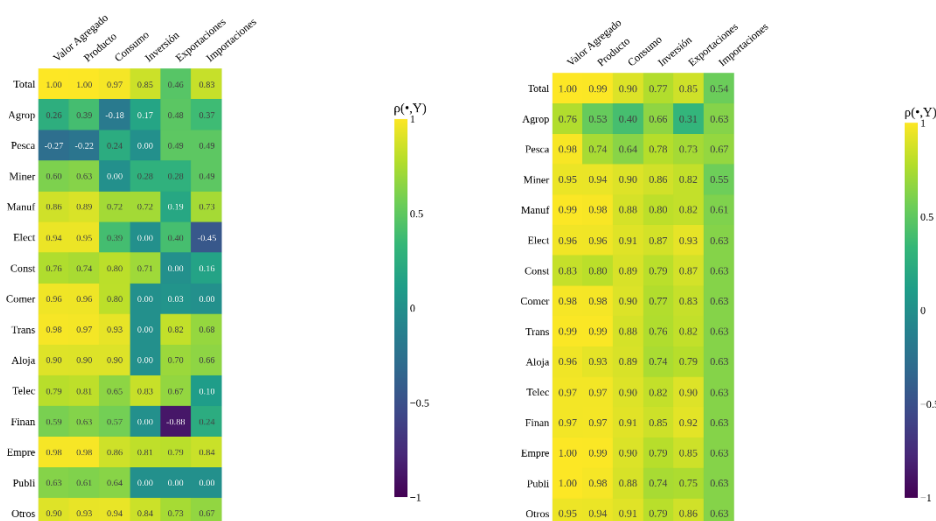
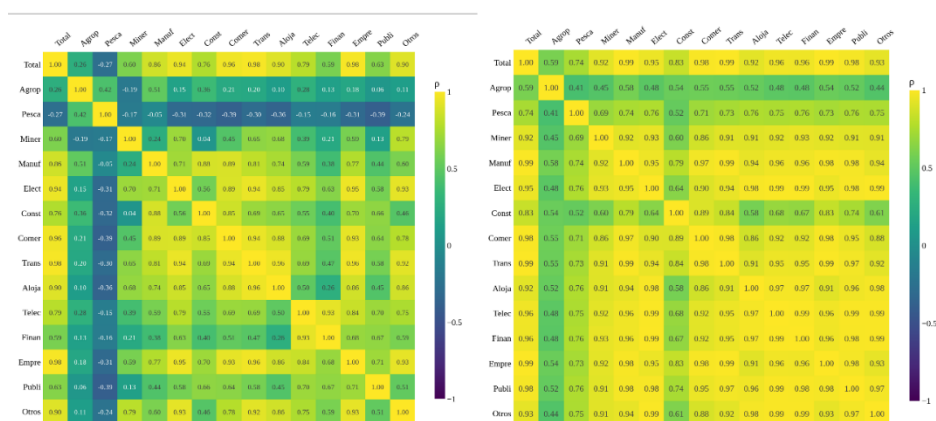


Gráfico 6. Correlaciones por pares, producción sectorial (Datos vs. Modelo)



En tercer lugar, los Gráficos 5 y 6 muestran las correlaciones de las producciones sectoriales por pares y las variables, agregadas y sectoriales, contra el PBI, respectivamente. En general, el modelo exhibe una correlación muy alta con el PBI, así como entre producciones sectoriales. Si bien algunos sectores como Agropecuario y Construcción se acercan a los valores observados, hay margen para seguir disciplinando el modelo.

Por último, se utilizaron los datos del modelo para replicar el ejercicio empírico previo, a fin de corroborar si los canales *upstream* y *downstream* se comportan como en los datos. En la Tabla 4, se observa cómo el modelo consigue replicar el efecto amplificador *upstream* sobre cantidades, mas no sobre precios. Una precisión importante es que el modelo encuentra un mayor efecto contemporáneo del *spillover upstream* sobre el PBI sectorial, mientras que este efecto no es tan fuerte en los datos. Esto sugiere que el modelo exagera la respuesta inmediata de las variables ante los choques, motivando la posibilidad de incorporar, en una agenda futura, alguna fricción que permita moderar esta respuesta.

Tabla 4. Comparación spillovers upstream & downstream

	DATOS		MODELO	
	$\Delta \log Q_{it}$	$\Delta \log P_{it}$	$\Delta \log Q_{it}$	$\Delta \log P_{it}$
$\Delta P_{it}^{UP}$	0.0748** (0.0288)	-0.0438 (0.0980)	0.337*** (0.0834)	-0.0114 (0.0173)
$\Delta P_{it-1}^{UP}$	0.146** (0.0573)	-0.0160 (0.0197)	0.169*** (0.0422)	-0.00923 (0.0107)
$\Delta P_{it}^{DOWN}$	-0.320 (0.666)	0.0610 (0.137)	-0.339 (0.569)	0.0410 (0.156)
$\Delta P_{it-1}^{DOWN}$	1.004 (0.917)	-0.641** (0.0769)	0.415 (0.350)	-0.0252 (0.0891)
Constante	0.0255** (0.01000)	0.0507*** (0.00710)	2.439*** (0.0155)	-0.278*** (0.00339)
Observaciones	1050	1050	1,386	1,386

Errores estándar clusterizados entre paréntesis

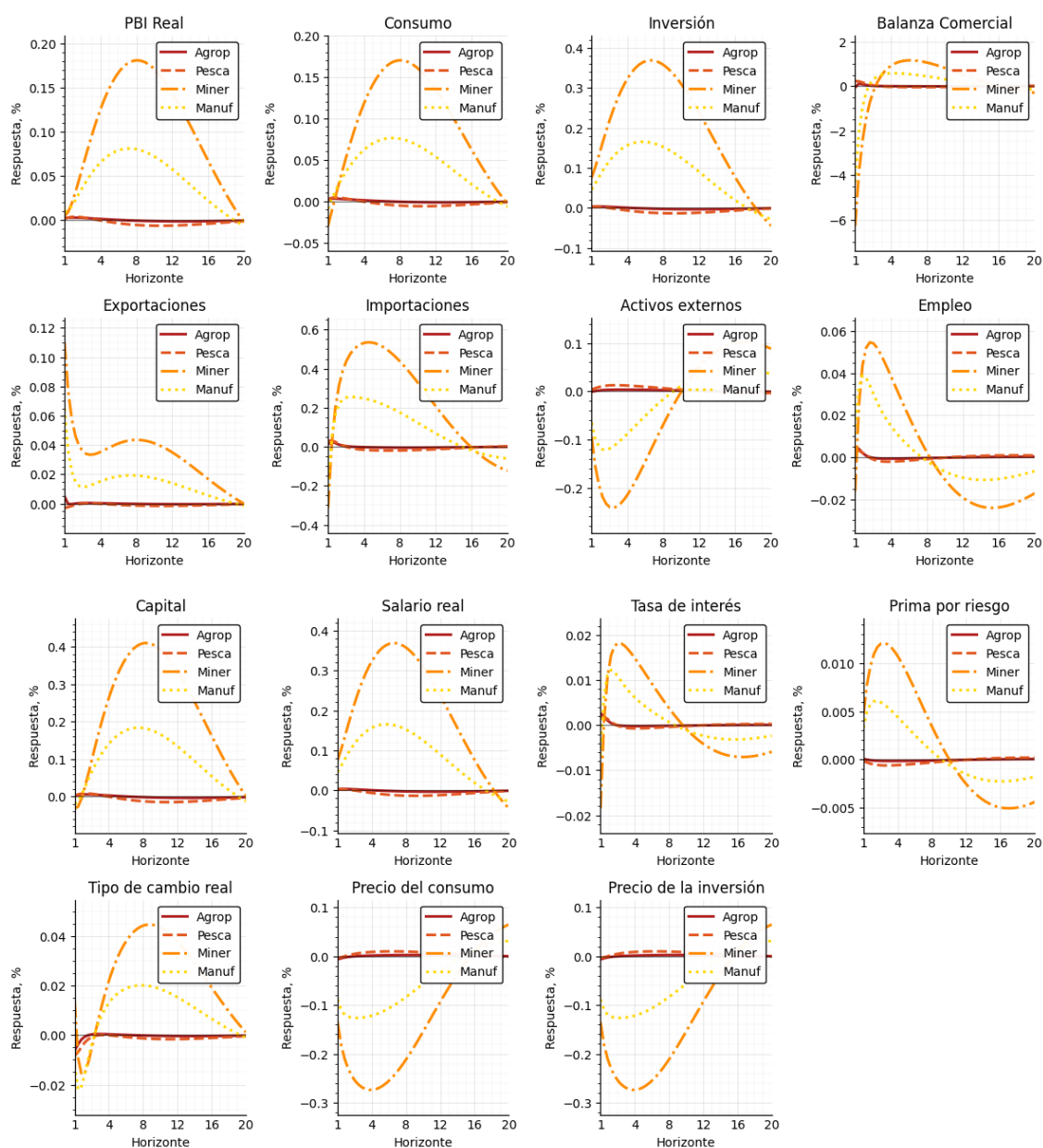
\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

## 2.2. IRF

El Gráfico 7 muestra las funciones impulso respuesta, en desviaciones porcentuales del estado estacionario, de las variables agregadas del modelo ante cuatro choques de precios de *commodities*, correspondientes a los sectores Agropecuario, Pesca, Minería y Manufactura. En primer lugar, se observa una mayor respuesta ante el choque de precios de los sectores Minería y Manufactura. Este resultado refleja la importancia de estos sectores y cómo, a pesar de que el choque sea de carácter sectorial, el rol de la minería y manufactura dentro de la red de producción de la economía peruana deriva en efectos considerables sobre variables agregadas.

Intuitivamente, la historia de estos choques es conocida: un *boom* minero mejora los términos de intercambio, impulsando las exportaciones y, a su vez, el PBI real, acompañado de una apreciación real. Los ingresos adicionales se asignan hacia el consumo y la inversión, esta última en una magnitud mayor. El capital se acumula gradualmente, acompañado también de una mayor demanda por trabajo. La inversión se financia temporalmente con mayor deuda, lo cual impulsa la prima por riesgo y la tasa de interés ligeramente al alza. En principio, el modelo indica que el precio del consumo e inversión responden negativamente al choque, lo cual representa una limitación, ya que se esperaría un incremento de estos por el efecto riqueza y dado cierto grado de complementariedad entre bienes de todos los sectores.

Gráfico 7. IRF: Variables agregadas (Choque de precios de commodities)

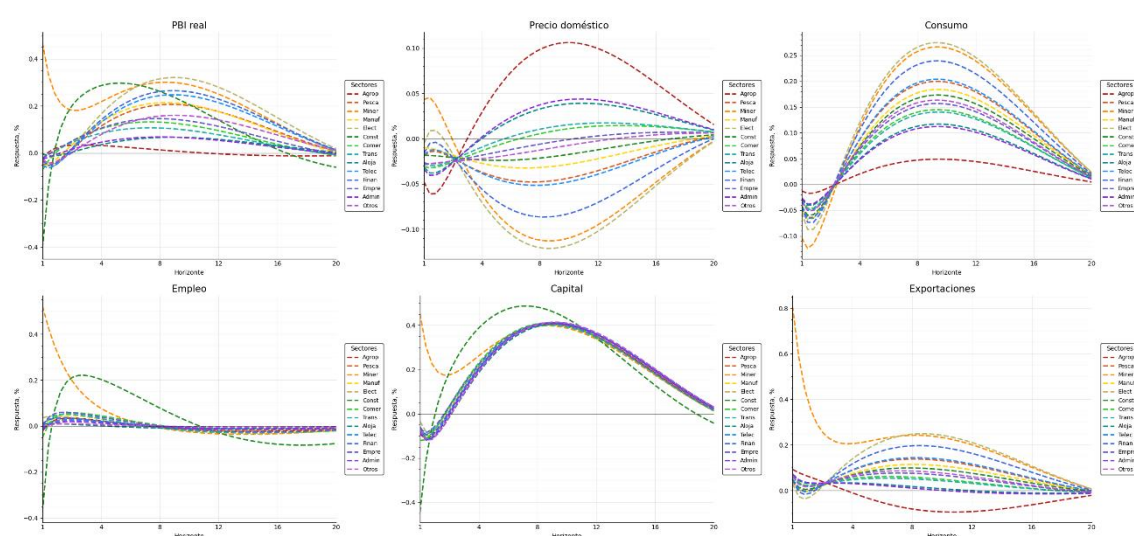


A partir de este punto, el análisis se centra en el escenario de un choque de precios de *commodities* del sector Minería. El Gráfico 8 muestra las respuestas de distintas variables sectoriales. Respecto del PBI real, se observa que todos los sectores experimentan una respuesta positiva, aunque en distinta magnitud. Destacan los sectores Electricidad y agua, y Servicios financieros como aquellos con una mayor expansión del PBI. Dado el vínculo *upstream* del sector Minería con estos sectores, se puede decir que el modelo captura cualitativamente el efecto amplificador de este canal. Por su parte, el sector Construcción, con quien Minería guarda un vínculo *downstream*, sufre una contracción muy pronunciada frente a su estado estacionario. Respecto de los precios, también hay respuestas heterogéneas, mas no se puede inferir una tendencia común entre sectores.

Dado que no se halló un efecto significativo de los canales *upstream* y *downstream* sobre los precios, el modelo hasta cierto punto captura esta característica.

La respuesta del consumo de cada sector es esperada, dado que hay cierto grado de complementariedad entre bienes. El trabajo en el sector Minería muestra una expansión considerable, pero es importante destacar que su participación es baja, de ahí que la respuesta de los otros sectores sea tan baja, a excepción de Construcción. Por su parte, el capital sí muestra una respuesta inicialmente negativa, dado que se reasigna hacia Minería. No obstante, con el boom de inversión y la mayor demanda de bienes de todos los sectores, este se recupera rápidamente.

Gráfico 8. IRF: Variables sectoriales (Choque de precios a Minería)



La Tabla 3 contiene medidas de los vínculos insumo-producto del sector minero. El canal *upstream*, que captura el rol del sector minero como cliente de otros sectores, se ve reflejado en sus demandas por insumos intermedios. El canal *downstream*, por su parte, evalúa el rol del sector minero como proveedor de otros sectores, y se ve reflejado en la demanda de insumos de minería por parte del resto de sectores. Con base en las respuestas de estas demandas de insumos, se puede construir un ranking para los vínculos insumo-producto del sector. Como se mencionó anteriormente, el sector Construcción es el más expuesto al canal *downstream*, junto a Otros Servicios y Comercio; mientras tanto, los sectores Electricidad, Servicios Financieros y Telecomunicaciones gozan de un fuerte canal *upstream*.

Tabla 4. Respuesta de demanda de insumos (Choque de precios de commodities de Minería)

ID	Sector	<i>Upstream</i>	Posición	ID	Sector	<i>Downstream</i>	Posición
05	Elect	0,0260	1	06	Const	0,0299	1
03	Miner	0,0247	2	03	Miner	0,0247	2
11	Finan	0,0235	3	14	Otros	0,0225	3
10	Telec	0,0209	4	07	Comer	0,0224	4
02	Pesca	0,0206	5	10	Telec	0,0224	5
04	Manuf	0,0193	6	13	Admin	0,0222	6
06	Const	0,0186	7	11	Finan	0,0220	7
14	Otros	0,0179	8	02	Pesca	0,0220	8
12	Empre	0,0174	9	09	Aloj	0,0219	9
07	Comer	0,0166	10	01	Agrop	0,0218	10
08	Trans	0,0162	11	12	Empre	0,0217	11
09	Aloj	0,0145	12	05	Elect	0,0216	12
13	Admin	0,0142	13	04	Manuf	0,0215	13
01	Agrop	0,0096	14	08	Trans	0,0213	14

Elaboración propia.

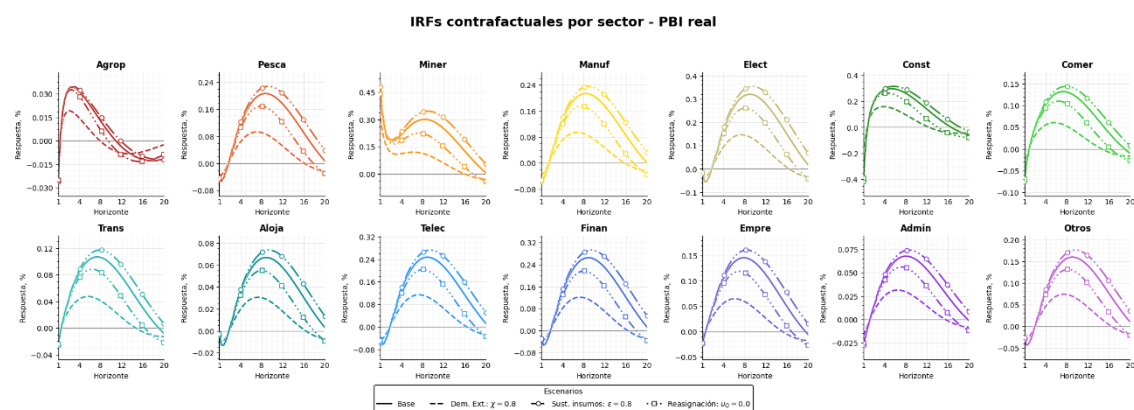
Uno de los objetivos del presente trabajo es identificar los canales de transmisión que actúan en la propagación de los choques de precios de *commodities*. Para ello, se simulieron contrafactuales del modelo base, a fin de evaluar de forma cualitativa si las respuestas de las variables difieren considerablemente.

En el Gráfico 9 se muestran las respuestas del PBI sectorial ante un choque de precios de *commodities* minerales para calibraciones alternativas de parámetros clave, a fin de evaluar el desempeño frente al modelo base (línea sólida). El primer contrafactual implica una menor elasticidad de sustitución de exportaciones  $\chi$ , de 1.0 a 0.8. Naturalmente, se esperaría una respuesta más débil de las exportaciones para todos los sectores, lo cual se traduce en una expansión mucho menor del PBI real. Llama la atención el cambio considerable en magnitud, muestra de la importancia del canal de demanda externa y la necesidad de obtener valores apropiados de esta elasticidad de sustitución en una agenda futura.

El segundo contrafactual considera una menor elasticidad de sustitución entre insumos intermedios sectoriales, tanto domésticos  $\vartheta_i^D$  como importados  $\vartheta_i^M$ , con un cambio en sus valores de 1 a 0.8. Se observa que la mayor complementariedad de insumos intermedios provoca una respuesta ligeramente mayor del PBI en todos los sectores. Ello sugiere que el canal de sustitución insumo-producto podría ser relevante, dado que actúa junto a los canales *upstream* y *downstream* por medio de los vínculos insumo producto. En el caso del canal *upstream*, una mayor complementariedad mejora la amplificación hacia el producto de otros sectores. No obstante, dado que dicha expansión se da gracias a la mayor demanda intermedia, la respuesta del PBI no es tan grande. Nuevamente, la estimación de estas elasticidades es vital para poder seguir disciplinando las respuestas sectoriales acorde a los datos.

El tercer contrafactual propone ‘apagar’ el canal de reasignación de capital y trabajo, haciendo que el sector Minería solo utilice insumos intermedios para producir; es decir, la participación de valor agregado en el producto  $v_Q$  pasa de 0.36 a 0. La respuesta generalizada es más débil para todos los sectores. Si bien esto implica que Minería ya no “roba” trabajo y capital de otros sectores, no hay un incremento en los salarios y renta del capital, dado que el sector que experimentó el *boom* no los utiliza. Por tanto, el canal de riqueza no se activa en el sector Minería, sino en los otros sectores y de forma más débil. Nuevamente, la amplificación solo se da hacia la demanda intermedia, esto combinado con los menores ingresos de los hogares se traduce en una menor respuesta del PBI en el resto de los sectores.

Gráfico 9. IRF: Contrafactuales – Canales convencionales (Choque de precios a Minería)

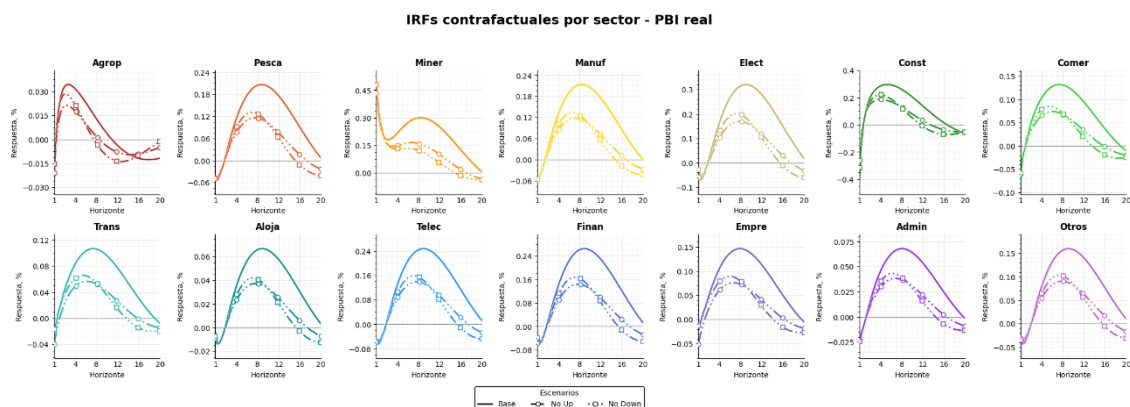


Por último, el Gráfico 10 muestra dos contrafactuales para analizar los canales *upstream* y *downstream* y su rol en moldear la respuesta del PBI real. Para ello, se siguió el enfoque de Cao y Dong (2020). En primer lugar, se calibrará la función de producción del sector minero tal que no utilice insumos intermedios domésticos, sólo importados, para así ‘apagar’ el canal *upstream*. En segundo, se calibrarán las funciones de producción del resto de sectores, tal que no demanden insumos intermedios domésticos del sector Minería, para así ‘apagar’ el canal *downstream*. Los resultados son particularmente interesantes.

En ausencia del canal *upstream*, la respuesta del PBI real es más débil. En este caso, el choque de precios ya no induce un incremento en la producción de otros sectores para satisfacer la demanda de insumos intermedios, pues el sector minero no los utiliza. Sin ese efecto amplificador, los otros sectores no demandan más capital, ni trabajo, ni insumos de otros sectores, con lo cual el aumento de ingresos de los hogares será menor, lo que se traduce en un menor incremento del PBI. En ese sentido, el modelo replica exitosamente el rol del canal *upstream* en la propagación de choques de precios de *commodities*, lo que respalda los resultados de la estimación con las simulaciones del modelo.

En ausencia del canal *downstream*, las variables también responden débilmente. Esto sugiere que los sectores que demandaban el insumo del sector minero, en teoría más caro, estaban experimentando un efecto amplificador. Ello contradice los resultados empíricos que muestran que el canal *downstream* no debería tener efecto alguno sobre el PBI. En definitiva, se requieren futuros ajustes al modelo para poder replicar el funcionamiento de este canal.

Gráfico 10. IRF: Contrafactuales – Upstream & Downstream (Choque de precios a Minería)



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo buscaba responder si los sectores de *commodities* eran relevantes dentro de una estructura de red de producción calibrada para la economía peruana. Para ello, se implementaron dos enfoques, empírico y teórico. Los resultados empíricos sugerían un rol amplificador para el canal *upstream* sobre el PBI sectorial. Para examinar esta dinámica con mayor profundidad, se construyó un modelo teórico con redes de producción y choques de precios de *commodities*. Tras proponer choques a cuatro sectores de *commodities*: Agropecuario, Pesca, Minería y Manufactura, se encontró que choques idiosincráticos al sector Minería y Manufactura pueden generar respuestas significativas en variables agregadas. Esta dinámica se propaga a través múltiples canales. A fin de identificar y analizar cualitativamente el impacto de dichos canales, se simuló una serie de economías contrafactuales. Se encontró que los canales de demanda externa, sustitución de insumos y *upstream* son relevantes para explicar la dinámica del PBI sectorial. Adicionalmente, se identificó que los resultados son sensibles a los parámetros de elasticidades de sustitución. Un desafío que persiste es comprobar, o bien corregir, las respuestas de las variables vía el canal *downstream*.

Este trabajo exhibe que sectores no *commodity* pueden estar expuestos a choques externos, a través de los vínculos insumo-producto que mantienen con los sectores *commodity*. Identificar si dichos sectores se encuentran “aguas arriba” o “aguas abajo” y qué tan expuestos están puede ser relevante en materia de política sectorial. Teniendo en mente el objetivo de lograr una mayor estabilidad del ciclo económico ante choques externos persistentes, futuras extensiones de este modelo podrían aplicarse para evaluar políticas de diversificación productiva, fortalecimiento de cadenas de suministros y reevaluación de diseño de impuestos o subsidios a diversos sectores.

Pensando en otras líneas de investigación futuras, se podría fortalecer la calibración del modelo estimando las elasticidades de sustitución mediante métodos econométricos, dados los descubrimientos durante las simulaciones contrafactuales. Asimismo, obtener mejores estimaciones de la persistencia y volatilidad de los choques permitiría obtener resultados robustos acerca de cuánta volatilidad del producto es efectivamente explicada por los choques de precios de *commodities*, además de acercar los momentos del modelo a los datos. Un desafío pendiente es poder disciplinar la dinámica de tasas de interés y tipo de cambio, incorporando otros ingredientes vistos en la literatura. También sería interesante evaluar distintos niveles de agregación de sectores, de manera que se pueda profundizar el análisis hacia sectores específicos, cuidando el *trade-off* entre complejidad del modelo y la posibilidad de capturar dinámicas más ricas al diferenciar por industrias o subindustrias.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acemoglu, D., Akcigit, U., & Kerr, W. (2016). Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration. *NBER Macroeconomics Annual*, 30, 273–335. <https://www.jstor.org/stable/26556652>
- Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2012). The Network Origins of Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, 80(5), 1977–2016. <http://www.jstor.org/stable/23271439>
- Aguiar, M., & Gopinath, G. (2007). Emerging Market Business Cycles: The Cycle is the Trend. *Journal of Political Economy*, 115(1) 69–102. <https://www.jstor.org/stable/10.1086/511283>
- Atalay, E. (2017). How Important Are Sectoral Shocks? *American Economic Journal: Macroeconomics*, 9(4), 254–280. <https://www.jstor.org/stable/26528417>
- Cao, S. & Dong, W. (2020). Production Networks and the Propagation of Commodity Price Shocks. Bank of Canada Working Paper, No. 2020-44. <https://doi.org/10.34989/swp-2020-44>
- Cao, S., & Dong, W. (2024). Replication Data and Code for: Production Networks and the Macroeconomic impacts of Commodity Price Shocks. Borealis, V1. <https://doi.org/10.5683/SP3/MTNXJY>.
- Carvalho, V. M. (2010). Aggregate fluctuations and the network structure of intersectoral trade, Economics Working Papers, Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra.
- Carvalho, V., & Tahbaz-Salehi, A. (2019). Production Networks: A Primer. *Annual Review of Economics*, 11(1), 635–663. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080218-030212>
- Catão, L., & Chang, R. (2013). Monetary Rules for Commodity Traders. *IMF Economic Review*, 61(1), 52–91. <http://www.jstor.org/stable/43297789>
- Céspedes, N., Aquije, M., Sánchez, A., Vera–Tudela, R. (2014). Productividad sectorial en el Perú: Un análisis a nivel de firmas. *Revista Estudios Económicos*, 28, 9–26. Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Estudios-Economicos/28/ree-28-cespedes-aquije-sanchez-veratudela.pdf>
- Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). Booming Sector and De-Industrialisation in a Small Open Economy. *The Economic Journal*, 92(368), 825–848. <https://doi.org/10.2307/2232670>
- Drechsel, T., & Tenreyro, S. (2018). Commodity booms and busts in emerging economies. *Journal of International Economics*, 112, 200–218. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2017.12.009>
- Fernández, A., González, A., & Rodríguez, D. (2018). Sharing a ride on the commodities roller coaster: Common factors in business cycles of emerging economies. *Journal of International Economics*, 111, 99–121. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2017.11.008>

- Fernández, A., Schmitt-Grohé, S., & Uribe, M. (2017). World shocks, world prices, and business cycles: An empirical investigation. *Journal of International Economics*, 108, S2–S14. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2017.01.001>
- Huneus, F. (2020). Production Network Dynamics and the Propagation of Shocks. *Banco Central de Chile*.
- Leng, Y., Liu, E., Ren, Y., Tsyvinski, A. (2025). The Bullwhip: Time-to-Build and Sectoral Fluctuations. *NBER Working Papers 33638*, National Bureau of Economic Research
- Mendoza, E. G. (1991). Real Business Cycles in a Small Open Economy” Mendoza (1991). *The American Economic Review*, 81(4), 797–818. <https://www.jstor.org/stable/2006643>
- Mendoza, E. G. (1995). The terms of trade, the real exchange rate, and economic fluctuations Mendoza (1995). *International Economic Review*, 36(1), 101–137. <https://www.jstor.org/stable/2527429>
- Montoro, C. (2012). Oil Shocks and Optimal Monetary Policy. *Macroeconomic Dynamics*, 16(2), 240–277. <https://doi.org/10.1017/S1365100510000106>
- Neumeyer, P. A., & Perri, F. (2005). Business cycles in emerging economies: The role of interest rates. *Journal of Monetary Economics*, 52(2), 345–380. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2004.04.011>
- Romero, D. (2025). Domestic linkages and the transmission of commodity price shocks. *Journal of International Economics*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2024.104041>
- Schmitt-Grohé, S., & Uribe, M. (2018). How Important Are Terms Of Trade Shocks? *International Economic Review*, 59(1), 85–111. <https://www.jstor.org/stable/45018885>
- Silva, A., Caraiani, P., Miranda-Pinto, J. & Olaya-Agudelo, J. (2024). Commodity Prices and Production Networks in small open economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 168.
- Stuermer, M. (2018). 150 Years of Boom and Bust: What Drives Mineral Commodity Prices? *Macroeconomic Dynamics*, 22(3), 702–717. <https://doi.org/10.1017/S136510051600050X>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Condiciones de primer orden.

Problema del Hogar:

Tras resolver el problema intratemporal del hogar, se obtienen los siguientes índices de precios:

$$P_t^C = \left( \pi (P_t^{C,D})^{1-\lambda} + (1-\pi) (P_t^{C,M})^{1-\lambda} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}}$$

$$P_t^{C,D} = \left( \sum_{i=1}^{N+Q} \gamma_i^D (P_{i,t})^{1-\tau_i} \right)^{\frac{1}{1-\tau_i^D}}$$

$$P_t^{C,M} = \left( \sum_{i=1}^{N+Q} \gamma_i^M (P_{iM,t})^{1-\tau_i} \right)^{\frac{1}{1-\tau_i^M}}$$

Luego, las condiciones de optimalidad del problema intertemporal son:

$$\frac{c_t^{-\sigma}}{P_t^C} = \beta(1+r_t) \mathbb{E}_t \left( \frac{c_{t+1}^{-\sigma}}{P_{t+1}^C} \right)$$

$$\frac{c_t^{-\sigma}}{P_t^C} = \beta \mathbb{E}_t \left\{ \left( \frac{c_{t+1}^{-\sigma}}{P_{t+1}^C} \frac{P_{t+1}^I}{P_t^I} \right) [R_{t+1} + (1-\delta)] \right\}$$

$$P_t^C C_t^\sigma = \frac{W_t}{\xi}$$

$$(1+r_t) = \mathbb{E}_t \left\{ \frac{S_{t+1}}{S_t} (1+r_t^*) \Psi(\tilde{B}_t^*) \right\}$$

Problema de las Firmas:

En mercados perfectamente competitivos, se tiene de las condiciones de primer orden del problema de maximización de beneficios que  $CMg_i = P_i$ , donde  $P_i$  es el precio al consumidor del bien final producido en el sector  $i$ . Luego, de los problemas de minimización de costos se obtienen los siguientes índices de precios:

$$P_i = CMg_i = A_i^{-1} \left( v_i (P_i^V)^{1-\theta_i} + (1-v_i) (P_i^M)^{1-\theta_i} \right)^{\frac{1}{1-\theta_i}}$$

$$P_i^V = (RP^I)^{\alpha_i} (W)^{1-\alpha_i}$$

$$P_i^M = \left( \omega_i (P_i^{M,D})^{1-\epsilon_i} + (1-\omega_i) (P_i^{M,M})^{1-\epsilon_i} \right)^{\frac{1}{1-\epsilon_i}}$$

$$P_i^{M,D} = \left( \sum_{j=1}^{N+Q} \mu_{ij}^D (P_j)^{1-\theta_i^D} \right)^{\frac{1}{1-\theta_i^D}}$$

$$P_i^{M,M} = \left( \sum_{j=1}^{N+Q} \mu_{ij}^M (P_{jM})^{1-\theta_i^M} \right)^{\frac{1}{1-\theta_i^M}}$$

$$P_t^I = \left( \sum_{i=1}^{N+Q} (\eta_i^D (P_j)^{1-\iota_i} + \eta_i^M (P_{jM})^{1-\iota_i}) \right)^{\frac{1}{1-\iota_i}}$$

## Anexo 2. Tabla de correspondencia.

OCDE	INEI
Agriculture, hunting, forestry	Agropecuario
Fishing and aquaculture	Pesca
Mining and quarrying, energy producing products	Minería
Mining and quarrying, non-energy producing products	Minería
Mining support service activities	Minería
Food products, beverages and tobacco	Manufactura
Textiles, textile products, leather and footwear	Manufactura
Wood and products of wood and cork	Manufactura
Paper products and printing	Manufactura
Coke and refined petroleum products	Manufactura
Chemical and chemical products	Manufactura
Pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products	Manufactura
Rubber and plastics products	Manufactura
Other non-metallic mineral products	Manufactura
Basic metals	Manufactura
Fabricated metal products	Manufactura
Computer, electronic and optical equipment	Manufactura
Electrical equipment	Manufactura
Machinery and equipment, nec	Manufactura
Motor vehicles, trailers and semi-trailers	Manufactura
Other transport equipment	Manufactura
Manufacturing nec; installation of machinery and equipment	Manufactura
Electricity, gas, steam and air conditioning supply	Electricidad y Agua
Water supply; sewerage, waste management activities	Electricidad y Agua
Construction	Construcción
Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles	Comercio
Land transport and transport via pipelines	Transportes
Water transport	Transportes
Air transport	Transportes
Warehousing and support activities for transportation	Transportes
Postal and courier activities	Telecomunicaciones
Accommodation and food service activities	Restaurantes y Hoteles
Publishing, audiovisual and broadcasting activities	Telecomunicaciones
Telecommunications	Telecomunicaciones
IT and other information services	Telecomunicaciones
Financial and insurance activities	Otros Servicios
Real estate activities	Otros Servicios
Professional, scientific and technical activities	Otros Servicios
Administrative and support services	Otros Servicios
Public administration and defence	Servicios Gubernamentales
Education	Otros Servicios
Human health and social work activities	Otros Servicios
Arts, entertainment and recreation	Otros Servicios
Other service activities	Otros Servicios

Fuente: Elaboración propia