

Documentos de Trabajo | 2023 | N 111

*Los efectos directos e indirectos de un shock sectorial  
asimétrico a nivel global: Un análisis dinámico de las relaciones  
insumo-producto*



*ie* | BCRA  
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

# Investigaciones Económicas

## Documentos de trabajo 2023 | N 111

*Los efectos directos e indirectos de un shock sectorial asimétrico a nivel global: Un análisis dinámico de las relaciones insumo-producto*

*Deborah Noguera*  
*IIPPyG-UNRN & CONICET*

*Gabriel Montes-Rojas*  
*Banco Central de la República Argentina, IIEP-BAIRES-UBA & CONICET*

Julio de 2023



*ie* | BCRA  
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Documentos de Trabajo, N 111

***Los efectos directos e indirectos de un shock sectorial asimétrico a nivel global:  
Un análisis dinámico de las relaciones insumo-producto***

Deborah Noguera  
IIPPyG-UNRN & CONICET

Gabriel Montes-Rojas  
Banco Central de la República Argentina, IIEP-BAIRES-UBA & CONICET

Julio de 2023  
ISSN 1850-3977  
*Edición electrónica*

Reconquista 266, C1003ABF  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina  
Teléfono | 54 11 4348-3582  
Correo electrónico | [investig@bcra.gob.ar](mailto:investig@bcra.gob.ar)  
Página web | [www.bcra.gob.ar](http://www.bcra.gob.ar)

Las opiniones vertidas en este trabajo son exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de la República Argentina. La serie Documentos de trabajo está compuesta por material preliminar que se hace circular con el propósito de estimular el debate académico y recibir comentarios. Toda referencia que desee efectuarse a estos Documentos deberá contar con la autorización del o los autores.

# Los efectos directos e indirectos de un shock sectorial asimétrico a nivel global.

Un análisis dinámico de las relaciones insumo-producto.\*

Deborah Noguera  
IIPPYG-UNRN & CONICET  
[deborah\\_noguera@hotmail.com](mailto:deborah_noguera@hotmail.com)

Gabriel Montes-Rojas  
BCRA, IIEP-BAIRES-UBA & CONICET  
[gabriel.montes@bcra.gob.ar](mailto:gabriel.montes@bcra.gob.ar)

Junio 2023

## Resumen

Este artículo estudia cómo un shock económico de impacto global se propaga y amplifica a través de la red que conecta a los diferentes sectores y países. Planteamos un enfoque computacional para el análisis de las relaciones intersectoriales tanto a nivel global como local, a partir del cual es posible evaluar el impacto económico y el alcance de un shock que interrumpa el normal funcionamiento en una unidad. En particular, analizamos dos tipos de shocks: (1) reducción en la oferta laboral de un conjunto de sectores en distintos países, como el impacto de la pandemia COVID-19; y (2) interrupción del suministro de un sector en un país hacia el resto del mundo, como el efecto de la guerra en Ucrania. Calibramos el modelo usando datos de la matriz insumo producto global y de la producción mensual de los distintos sectores productivos. Los resultados encontrados destacan la necesidad de considerar en el análisis de la importancia sistémica de los distintos sectores, no solo sus características económicas –como su tamaño en términos de valor agregado, producción o empleo generado–, sino también a las interrelaciones entre ellos y la posición que ocupa cada uno en las redes productivas. Es importante tener en cuenta que las economías nacionales forman parte de un mundo cada vez interconectado, por lo que también su posición e integración en el complejo entramado de relaciones insumo-producto a nivel global es una dimensión relevante.

**Códigos JEL:** C63 – C67 – F47

**Palabras clave:** ICIO Model – Redes Insumo-Producto – Crisis Económica – COVID-19 – Conflicto Ucrania-Rusia

## 1 Introducción

En este trabajo planteamos un enfoque computacional para el análisis de las relaciones intersectoriales –considerando aquellas que tienen lugar tanto a nivel local como global–, a partir del cual es posible evaluar el impacto económico y el alcance de un shock que interrumpa el normal funcionamiento en una unidad (sector/país). Este trabajo tiene como objetivo modelizar distintos shocks en la cadena productiva global usando un modelo de insumo-producto con muchos sectores y países.

A partir de este análisis se busca simular dos eventos recientes de gran interés económico. El primer evento es un shock que afecta de manera diferencial a un conjunto de sectores en distintos países del mundo, para lo que tomamos como ejemplo motivador el caso de la pandemia de COVID-19. Modelamos el shock como una restricción sobre la oferta disponible de mano de obra en algunos sectores, que se trasladará a

---

\*Se agradecen los comentarios de Gabriel Brondino como revisor externo.

la producción real y también a la demanda final. Tomamos el caso de las restricciones sectoriales en el marco de la pandemia por COVID-19 (ej. esenciales vs. no esenciales) para la selección de los sectores impactados en el escenario base, lo que nos permite calibrar el modelo en base a la evolución empírica de la producción sectorial. En el segundo tipo de evento, se busca modelar una interrupción completa por parte de un país o conjunto de países en particular, para lo que tomamos como base el caso del conflicto entre Rusia y Ucrania. Este shock tiene la particularidad de cortar lazos comerciales entre países (ej. sanciones comerciales o interrupciones del flujo de gas natural) restringiendo las capacidades productivas del resto de los países. En ambos casos el objetivo es evaluar la transmisión del shock a través de la cadena productiva global.

La literatura económica ha demostrado que los vínculos comerciales en el sistema productivo juegan un papel importante en la transmisión de shocks. Específicamente, la estructura de las relaciones intersectoriales a lo largo de las cadenas de suministro es un elemento clave para analizar cómo factores como la dinámica de la productividad, el progreso tecnológico o el aumento/disminución de la demanda pueden afectar a un sistema económico. Esta transmisión opera tanto a nivel local como a nivel internacional, a través de los vínculos que conectan los sectores exportadores (importadores) de un país con las industrias importadoras (exportadoras) extranjeras. A partir de los procesos de fragmentación y deslocalización de la actividad productiva –con mayor énfasis en las últimas décadas–, que trajeron aparejado un incremento en la interconexión local e internacional de los sectores, estos factores se han vuelto más relevantes.

El alcance y la velocidad de la transmisión de un shock pueden ser heterogéneos entre países y también dentro de ellos. Un primer elemento a tener en cuenta es que un shock puede afectar a diferentes unidades y, por lo tanto, tener un origen diferente. Podría afectar a una industria específica en un país (como la sequía que enfrentó gran parte de Estados Unidos y afectó centralmente al sector agrícola), podría afectar a un conjunto de sectores en distintos países (como fue el caso de las medidas de aislamiento social que afectaron la mano de obra disponible en distintas economías para un mismo conjunto de sectores), o podría implicar que un país en su conjunto se vea impedido de participar en el comercio internacional (como ha sucedido, por ejemplo, en el reciente conflicto entre Ucrania y Rusia).

Al mismo tiempo, las industrias pueden ser más o menos centrales en las redes de producción. En este contexto, puede surgir un desajuste entre sectores que son centrales para la transmisión internacional de shocks y aquellos que son centrales para su propagación interna (Costa *et al.*, 2022). En otras palabras, un sector podría estar fuertemente conectado con otros sectores extranjeros, representando así un canal potencial de transmisión de shocks exógenos; sin embargo, si no es central dentro de la red de comercio nacional, su capacidad para transmitir perturbaciones a la economía nacional sería débil. Por el contrario, un sector con pocos o ningún vínculo de comercio exterior podría ser central dentro de la red de comercio nacional; en tal caso, un shock originado en ese sector podría propagarse amplia y rápidamente a través de la economía nacional pero con poco impacto en los mercados extranjeros. Por lo tanto, la posición que ocupan los sectores en la red de relaciones intersectoriales, es clave para determinar la magnitud total de un shock que lo afecta de manera directa.

La literatura económica –tanto teórica como empírica– ha estudiado ampliamente cómo los shocks se amplifican y propagan a través de las economías provocando fluctuaciones en el producto. Tradicionalmente, el tema ha sido abordado desde una perspectiva macroeconómica: entre otros, los shocks pueden originarse y transmitirse a través de efectos reales (inversiones, acumulación de capital, productividad, comercio, tecnología) o canales financieros (controles de capital, liquidez, sistema bancario, fricciones en el mercado crediticio), así como cambios en la política monetaria. Más recientemente, la literatura empírica ha demostrado que los ciclos económicos pueden tener su origen también en alteraciones microeconómicas (Acemoglu *et al.*, 2012; Baqaee y Farhi, 2019; Carvalho y Gabaix, 2013; Costa *et al.*, 2021; Di Giovanni *et al.*, 2014, 2018; Gabaix, 2011). En particular, se destaca que esto ocurriría en dos casos: (i) cuando las empresas son lo suficientemente grandes como para afectar significativamente la dinámica del PIB, el valor agregado o las exportaciones de un país (Gabaix, 2011); o (ii) cuando los vínculos entre los sectores económicos son tales que permiten que los posibles shocks que ocurren en una sola rama se extiendan al resto del sistema económico (Acemoglu *et al.*, 2012; Carvalho y Gabaix, 2013).

Desde una perspectiva sectorial –como la que adopta el presente artículo–, un conjunto de contribuciones utilizó un enfoque insumo-producto para analizar el papel de las relaciones intersectoriales en la transmisión de shocks nacionales e internacionales dentro de los sistemas económicos. Esta literatura, destaca que la importancia de la transmisión internacional de shocks ha crecido gradualmente junto con

la participación de empresas y países en las Cadenas Globales de Valor (CGV). Las relaciones comerciales entre sectores de diferentes países pueden conducir a la transmisión de eventos nacionales a través de las fronteras, lo que contribuye a los movimientos conjuntos de los ciclos económicos internacionales. La contribución pionera de Long y Plosser (1983) en el estudio de los comovimientos sectoriales a partir de un modelo de red, dio origen a una amplia literatura que se centró en estudiar la volatilidad agregada generada por shocks idiosincrásicos en sectores específicos. En líneas generales, se ha encontrado que estas perturbaciones tienen mayores efectos cuando los sectores se encuentran más interconectados y sus relaciones son fuertes (Acemoglu *et al.*, 2015; Conley y Dupor, 2003).

Por mencionar algunos de los aportes más relacionados a este trabajo}, Acemoglu *et al.* (2016) estudió la propagación de varios tipos de shocks a la economía de EE.UU. utilizando conjuntamente redes geográficas y matrices insumo-producto. Shea (2002) se centró en la misma economía y analizó la relevancia de las relaciones entre sectores en los comovimientos entre industrias en el país. Por su parte, Alatriste Contreras y Fagiolo (2014) estudiaron diferentes modelos de difusión de shocks entre las economías de la Unión Europea y encontraron que la extensión y heterogeneidad de los impactos dentro de las economías nacionales depende de si los shocks modifican o no la estructura de las interdependencias sectoriales y su capacidad productiva. Finalmente, Bems *et al.* (2010) utilizan un enfoque insumo-insumo producto a escala internacional para analizar la transmisión de la recesión global de 2008/09 y cómo la caída en la demanda agregada de un conjunto de países puede explicar el colapso del comercio mundial.

De esta manera, las matrices insumo-producto representan una herramienta de larga data para comprender la topología de las interdependencias entre industrias y sus repercusiones en las economías. En la literatura reciente, los modelos computacionales de matrices insumo-producto están siendo ampliamente utilizados para evaluar el impacto de distintos eventos disruptivos<sup>1</sup>. Un modelo insumo producto es una técnica analítica para explicar el sistema económico (Leontief, 1936; Christ, 1955; Miller y Blair, 2009). En su forma más simple, es un sistema lineal de ecuaciones, en el que se explican los flujos de producto de cada uno de los sectores (como productor/vendedor) al resto de los sectores de la economía (como consumidor/comprador). En este trabajo, partimos de un enfoque basado en el modelo insumo-producto tradicional, con el objetivo de construir una herramienta intuitiva que proporcione evaluaciones preliminares de los impactos sectoriales y globales de shocks que pueden afectar el normal funcionamiento de los sectores productivos de manera asimétrica. Específicamente, aplicamos un enfoque computacional para analizar el impacto económico (local y global) de un shock exógeno que interrumpa el normal funcionamiento en un sector/país, a partir de la red de relaciones intersectoriales. Se consideran shocks con dos orígenes diferenciados. En el primer caso, se modelan como shocks en la oferta laboral, mientras que en el segundo caso, se modela como una interrupción en los flujos de comercio del sector energético de un país en particular (Rusia) hacia el resto de los países. De esta manera es posible evaluar la propagación del impacto desde una perspectiva interregional e interindustrial.

Hay un importante número de contribuciones que comparten una metodología similar. Por un lado, ha sido recientemente aplicada para evaluar los efectos de las medidas implementadas durante la pandemia por COVID-19. Por ejemplo, Pichler *et al.* (2022) utilizan un enfoque insumo-producto computacional para estimar los efectos de las medidas de aislamiento social en el Reino Unido considerando shocks de oferta y de demanda, y analizan varios escenarios posibles para las reaperturas. En una línea similar, Reissl *et al.* (2022) estiman un modelo computacional de las relaciones intersectoriales e interregionales en Italia, para evaluar el efecto de las dos etapas de confinamiento en dicho país. Finalmente, Delli Gatti y Reissl (2022) emplean un modelo basado en agentes macroepidemiológico para evaluar el *trade-off* entre “salud y economía”, discusión que estuvo presente durante los momentos más restrictivos en todo el mundo a la circulación de personas en el contexto del COVID-19. Por otro lado, hay un conjunto de contribuciones que utilizan un enfoque computacional insumo-producto, para evaluar los efectos de la interrupción del suministro de gas por parte de Rusia en las economías europeas. Por ejemplo, Bouwmeester y Oosterhaven (2017) utilizan un modelo insumo-producto dinámico, no lineal, para predecir el impacto regional de una interrupción del flujo de gas natural. Más recientemente, Perdana *et al.* (2022) a través de un modelo de equilibrio general computable que incorpora las relaciones insumo-producto a escala global, simulan distintos escenarios de embargo de la Unión Europea sobre la energía rusa.

El presente trabajo difiere de los anteriores en dos puntos principales. En primer lugar, el alcance geográfico al no concentrarse únicamente en un país en particular, sino hacerlo a nivel global y considerar a las economías nacionales no como unidades aisladas sino como elementos interconectados a un sistema

---

<sup>1</sup>Galbusera y Giannopoulos (2018) proveen una revisión completa y reciente de estas contribuciones aplicadas al caso de desastres naturales

económico global; y, por otro lado, el tipo de shocks que se analizan y el enfoque particular para descomponer la transmisión del mismo a través de las interconexiones sectoriales a nivel nacional y global. Finalmente, se buscó trabajar con un modelo simple e intuitivo, tanto en lo que hace a los supuestos de comportamiento de los agentes como en los requerimientos de información para su estimación.

En síntesis, se propone un modelo insumo-producto para analizar los efectos económicos de la transmisión de un shock específico, desde una perspectiva sectorial y de alcance local y global. Se parte de la base del modelo Insumo-Producto global (ver, por ejemplo, Duchin, 1983), conjuntamente con el marco desarrollado por Reissl *et al.* (2022), quienes se basan en el *Sequential Inter-Industry Model* (SIM) propuesto por Romanoff y Levine (1986). Si bien este último se desarrolla pensando en economías locales y los vínculos regionales en su interior, tiene como objetivo introducir explícitamente el tiempo en el modelado de las relaciones insumo-producto y describir los procesos de ajuste que siguen a los shocks en la demanda final o en la capacidad productiva, por lo que resulta adecuado para los objetivos de este trabajo. Asimismo, puede ser adaptado para el estudio de los vínculos en la economía global.

El modelo predice una caída en la producción global del 32.1% para el caso del shock que afecta diferencialmente a la oferta de trabajo disponible para cada sector, y del 7.6% en el caso de una interrupción en el suministro del sector de energía y gas por parte de Rusia a los sectores-países europeos. Si bien la magnitud del efecto total sobre el producto global es mucho mayor en el primer caso en términos absolutos, si lo consideramos en términos relativos a la magnitud del evento desencadenante, el impacto sobre la producción global en el segundo tipo de shock es considerable. Este resultado se explica por la importancia sistémica que tiene el sector de energía y gas de Rusia en la economía mundial. Es posible observar esto de dos maneras. En primer lugar, si consideramos las participaciones de los efectos directo e indirecto, en el primer caso son del 62% y 38%, respectivamente, mientras que en el segundo caso, esto se revierte y el efecto indirecto pasa a ser la principal fuente de explicación para el cambio total de la producción desencadenado por el shock inicial: 55.2%. Asimismo, un análisis de la propagación del shock da cuenta de la relevancia del sector energético, ya que el mismo surge como aquel con la capacidad para desencadenar grandes efectos cascada en un número considerable de países (ver sección 4.3 para más detalles).

En líneas generales, los resultados encontrados ponen de relieve la importancia que tienen las interconexiones sectoriales y la posición de cada sector-país en la economía tanto nacional como global. Por lo tanto, analizar la importancia de los mismos requiere no sólo considerar sus características económicas (como tamaño en términos de valor agregado, producción o empleo generado), sino también la dimensión relacional. En este sentido, no debe perderse de vista que las economías nacionales forman parte de un mundo interconectado, por lo que su posición e integración en el complejo entramado de relaciones insumo-producto a nivel global es una dimensión relevante del análisis económico y social.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe la estructura del modelo y la forma que adquieren las relaciones intersectoriales. Luego, en la sección 3, se presenta la estrategia de estimación del modelo y la información utilizada. En las secciones 3.1 y 3.2 se especifican los tipos de shock implementados. Los resultados y análisis de las simulaciones se describen en la sección 4. Finalmente, la sección 5 concluye.

## 2 Estructura del modelo global de relaciones intersectoriales

La estructura de producción es similar a un modelo insumo-producto estándar, en el que se incorpora una dimensión espacial que distingue entre diferentes economías nacionales en el mundo, y una dimensión temporal para identificar el shock y su transmisión a lo largo de la cadena de suministro. Cada sector en cada país produce un bien homogéneo, con una tecnología de rendimientos constantes a escala, donde todos los insumos se usan en proporciones fijas. Si bien en el mundo real existe cierto grado de sustituibilidad, en este modelo nos interesa describir una perspectiva de corto plazo, para evaluar el alcance en la transmisión de un shock, por lo que resulta un supuesto aceptable en este contexto. Siguiendo a Sraffa (1960) podemos pensar que estamos describiendo una economía para una escala dada, pero no necesariamente sería la misma si la escala se altera en forma significativa<sup>2</sup>. Los bienes se utilizan para satisfacer tanto la demanda final como la demanda de insumos de otros sectores, tanto en la economía

---

<sup>2</sup>Respecto a la estimación del modelo, tiene dos ventajas principales: (1) evita la necesidad de realizar supuestos arbitrarios sobre el grado de sustituibilidad entre insumos intermedios (locales y de diferentes países) y de la velocidad a la que tales sustituciones pueden tener lugar; y (2) lo simplifica, ya que reduce el espacio de parámetros.

local como global. Para simplificar, suponemos que todos los precios están fijos (ver, por ejemplo, [Koks et al., 2019](#), para una discusión acerca de este supuesto en este tipo de modelos).

## 2.1 Secuencia de eventos

En el modelo toman lugar los siguientes eventos y decisiones por parte de los agentes económicos representados.

1. Se determinan los shocks sobre la oferta de trabajo disponible o sobre la disponibilidad de insumos de otros sectores-países.
2. Se forman las expectativas sobre la demanda de corto y largo plazo en cada sector.
3. Se determina la producción factible, dada la cantidad de trabajadores y otros factores productivos disponibles.
4. Toman lugar las órdenes de insumos domésticos e importados en función de las expectativas de corto y largo plazo.
5. Se computa la demanda para cada sector-país y se determina el nivel de producción.
6. Se entregan los pedidos y los insumos consumidos en el proceso productivo se reponen con los bienes entregados, determinando la capacidad productiva en términos de insumos disponibles para el siguiente período.

Esta secuencia se repite en cada período  $t$  del modelo, donde cada unidad  $t$  corresponde a una semana calendario. A continuación se describen los principales aspectos del modelo.

## 2.2 Producción y estructura general

Siguiendo la notación estándar en los modelos insumo producto presentes en la literatura, notamos  $\mathbf{Z}$  a la matriz de intercambios interindustriales o de consumo intermedio, que incluye las dimensiones geográfica (o sea, nacional) y sectorial que mencionamos previamente. Formalmente, la matriz  $\mathbf{Z}$  se puede representar como<sup>3</sup>:

$$\mathbf{Z}_{\mathbf{nk} \times \mathbf{nk}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} [\mathbf{z}_1^1]^{\mathbf{F}} \\ \vdots \\ [\mathbf{z}_j^s]^{\mathbf{F}} \\ \vdots \\ [\mathbf{z}_k^n]^{\mathbf{F}} \end{matrix} & \begin{pmatrix} [\mathbf{z}_1^1]^{\mathbf{C}} & & [\mathbf{z}_j^s]^{\mathbf{C}} & & [\mathbf{z}_k^n]^{\mathbf{C}} \\ z_{1,1}^{1,1} & \cdots & z_{1,j}^{1,j} & \cdots & z_{1,k}^{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ z_{i,1}^{r,1} & \cdots & z_{j,j}^{s,s} & \cdots & z_{j,k}^{s,n} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{k,1}^{n,1} & \cdots & z_{k,j}^{n,s} & \cdots & z_{k,k}^{n,n} \end{pmatrix} & \end{matrix} \quad (1)$$

Notar que  $\mathbf{Z}$  es una matriz cuadrada de dimensiones  $\mathbf{nk} \times \mathbf{nk}$ , donde  $n$  es el número de países y  $k$  es el número de sectores productivos. Cada fila y columna de la matriz  $\mathbf{Z}$  refiere a una rama específica localizada en un país en particular. Los supraíndices indexan países, mientras que los subíndices indican sectores productivos<sup>4</sup>. Como es usual en la literatura, las columnas de  $\mathbf{Z}$ , identificadas por los vectores columna  $\mathbf{z}^{\mathbf{C}}$ , indican los insumos necesarios para la producción de un sector en una localización particular, es decir, los requerimientos de bienes y servicios para su producción. Por su parte, las filas de  $\mathbf{Z}$ , identificadas por los vectores fila  $\mathbf{z}^{\mathbf{F}}$ , indican la asignación de la producción de un sector específico al resto de los sectores y localizaciones geográficas.

Expresado de otra forma,  $\mathbf{Z}$  es una matriz por bloques de dimensiones  $\mathbf{n} \times \mathbf{n}$ , donde cada elemento de la misma es una matriz cuadrada, de dimensiones  $\mathbf{k} \times \mathbf{k}$ . De esta manera, los elementos de la diagonal principal de la matriz denotan las transacciones entre sectores en una economía nacional, mientras que

<sup>3</sup>Utilizamos la tipología negrita y en mayúscula para denotar los objetos matrices, la negrita minúscula para vectores y la normal cursiva para denotar escalares. También utilizamos un tilde superior (i.e.  $\tilde{a}$ ), para denotar a las variables, vectores, matrices o escalares que fueron obtenidos de la información empírica; es decir, de las tablas insumo-producto entre países publicadas por la OECD (ver sección 3).

<sup>4</sup>Ver, por ejemplo, [Arto et al. \(2019\)](#) y [Durán Lima y Banacloche \(2021\)](#). De esta manera, el par ordenado (fila, columna) de la matriz  $\mathbf{nk} \times \mathbf{nk}$  se obtendría a partir del par ordenado supraíndice x subíndice. Por ejemplo, el elemento  $z_{i,j}^{r,s}$  sería el elemento  $(r(k-1) + i, s(k-1) + j)$ , es decir, fila  $r(k-1) + i$  y columna  $s(k-1) + j$ .

por fuera de la diagonal principal se identifica el intercambio internacional de cada sector y país en particular, tal como se representa en la Figura 1.

Figura 1: Estructura de las relaciones intersectoriales a escala global y local

Transacciones intermedias a nivel global					Transacciones intermedias a nivel nacional					
		País 1		País j		País n				
		Sector 1	... Sector k	Sector 1	... Sector k	Sector 1	... Sector k			
$Z$ $nk \times nk$	País 1	Sector 1	$Z^{1,1}$	...	$Z^{1,n}$					
	:	:	:	:	:					
	Sector k	:	:	:	:	$Z^{n,n}$				
		País n	Sector 1	$Z^{n,1}$	...	$Z^{n,n}$				
		:	:	:	:					
		Sector k	:	:	:					

Transacciones intermedias a nivel nacional				
		Sector 1	... Sector j	... Sector k
$Z^{r,r}$ $k \times k$	Sector 1	$Z_{1,1}^{r,r}$	...	$Z_{1,j}^{r,r}$
	:	:	:	:
	Sector j	$Z_{j,1}^{r,r}$	...	$Z_{j,j}^{r,r}$
	:	:	:	:
Sector k	$Z_{k,1}^{r,r}$	...	$Z_{k,j}^{r,r}$	$Z_{k,k}^{r,r}$

Cada elemento  $z_{i,j}^{r,s}$  indica el flujo de bienes y servicios producidos por la industria  $i$  en el país  $r$  hacia la industria compradora  $j$  localizada en el país  $s$ . Cada elemento de la diagonal principal de la matriz,  $z^{r,r}$ , contiene a la matriz insumo-producto nacional, mientras que los elementos  $z^{r,s \neq r}$  y  $z^{s \neq r,r}$  contienen información sobre el comercio bilateral entre los países  $r$  y  $s \neq r$ .

Todos los componentes de la demanda final total, incluyendo tanto la local como externa, se encuentran contenidos en un vector columna  $\mathbf{y}$  de longitud  $nk$ , que indica la demanda final de cada uno de los sectores  $k$  localizados en los  $n$  países. Al igual que en el modelo insumo-producto estándar, la producción bruta de cada sector se obtiene de adicionar a su demanda final, la suma de los elementos de la fila correspondiente de  $\mathbf{Z}$ .

La matriz  $\mathbf{A}$  de insumos se puede obtener dividiendo las compras sectoriales de insumos por los productos sectoriales, ambos extraídos de la matriz insumo producto entre países observada empíricamente (ver sección 3). Formalmente, esto se expresa como:

$$\mathbf{A}_{nk \times nk} = \begin{pmatrix} a_{1,1}^{1,1} & \dots & a_{1,j}^{1,s} & \dots & a_{1,k}^{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{j,1}^{s,1} & \dots & a_{j,j}^{s,s} & \dots & a_{j,k}^{s,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k,1}^{n,1} & \dots & a_{k,j}^{n,s} & \dots & a_{k,k}^{n,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\tilde{z}_{1,1}^{1,1}}{\tilde{x}_1^1} & \dots & \frac{\tilde{z}_{1,j}^{1,s}}{\tilde{x}_j^s} & \dots & \frac{\tilde{z}_{1,k}^{1,n}}{\tilde{x}_k^n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\tilde{z}_{j,1}^{s,1}}{\tilde{x}_1^1} & \dots & \frac{\tilde{z}_{j,j}^{s,s}}{\tilde{x}_j^s} & \dots & \frac{\tilde{z}_{j,k}^{s,n}}{\tilde{x}_k^n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\tilde{z}_{k,1}^{n,1}}{\tilde{x}_1^1} & \dots & \frac{\tilde{z}_{k,j}^{n,s}}{\tilde{x}_j^s} & \dots & \frac{\tilde{z}_{k,k}^{n,n}}{\tilde{x}_k^n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Definimos al vector  $\mathbf{l}$  de dimensión  $nk \times 1$  que indica la cantidad de trabajadores disponibles para la producción en cada país y para cada sector. La cantidad inicial de mano de obra disponible ( $\bar{\mathbf{I}}$ ) se establece igual a 100 por simplicidad. A partir de aquí, definimos un vector de coeficientes técnicos para la mano de obra, dividiendo  $\bar{\mathbf{I}}$  por el vector de la producción bruta inicial sectorial  $\bar{\mathbf{x}}$ :  $\mathbf{a}^1 = \text{diag}^{-1}(\bar{\mathbf{x}})\bar{\mathbf{I}}$ .

Para llevar a cabo la producción, los distintos sectores emplean mano de obra junto con el stock de insumos que acumularon en el pasado (esto incluye al sector energético), que transforman de acuerdo a una función de producción de coeficientes fijos, es decir, de Leontief. Esto quiere decir que la producción máxima que cada sector puede producir está dada por:

$$\mathbf{x}_t^{\max} = \min [\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^1)\mathbf{l}_t, \text{colmin}(\mathbf{Z}_{t-1}^{\text{inv}} \oslash \mathbf{A})], \quad (3)$$

donde  $\oslash$  indica división elemento por elemento y  $\mathbf{Z}^{\text{inv}}$  es una matriz que contiene el stock de inventarios de insumos acumulados por los sectores a lo largo del tiempo. Como lo expresa esta función, el nivel de producción sectorial está limitado por el menor de dos valores: la capacidad de producción limitada por la mano de obra ( $\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^1)\mathbf{l}_t$ ) y la capacidad de producción limitada por insumos intermedios ( $\text{colmin}(\mathbf{Z}_{t-1}^{\text{inv}}/\mathbf{A})$ ). Como se mencionó previamente, esta función de producción excluye la posibilidad

de sustitución entre productos de diferentes sectores y entre productos de los mismos sectores pero de diferentes países. Consideramos que esta modelización representa una aproximación válida en un análisis a corto plazo, ya que es probable que lleve tiempo encontrar nuevos proveedores para un bien si un insumo proveniente de un país en particular deja de estar disponible repentinamente (Fernandez-Stark y Gereffi, 2019; Baqaee y Farhi, 2020).

### 2.3 Demanda intermedia y expectativas

La demanda de bienes recibida por cada sector, indicada por  $\mathbf{x}^d$ , está compuesta por la demanda final ( $\mathbf{y}$ ) y la demanda para los insumos recibidos de otros sectores productivos,  $\mathbf{Z}^d$ . La cantidad de insumos que cada sector demanda, así como también la fuerza de trabajo necesaria son determinadas por sus expectativas de demanda/ventas. Distinguimos entre dos tipos de demanda esperada: de corto y de largo plazo.

Las expectativas a corto plazo  $\mathbf{x}_t^{e,CP}$  expresan la demanda que los sectores en los distintos países esperan recibir en el período actual. En ausencia de shocks, determinan (1) la cantidad de mano de obra adicional (si la hay), (2) qué sectores desean contratar, y (3) la cantidad de insumos que demandan de otros sectores/países para reemplazar los que esperan utilizar en la producción del período actual. Los agentes igualan la respectiva demanda recibida en el período anterior, pero se asume que luego de que un shock toma lugar, los sectores conocen la consecuente reducción de la capacidad productiva de sus clientes y ajustan en consecuencia sus expectativas de ventas a corto plazo. Esto se encuentra en línea con la existencia de relaciones comerciales estables y asociaciones entre empresas *upstream* y *downstream* a lo largo de las cadenas de suministro (Fernandez-Stark y Gereffi, 2019). Por lo tanto, las expectativas a corto plazo se obtienen como:

$$\mathbf{x}_t^{e,CP} = \mathbf{x}_{t-1}^d + \mathbf{A} [\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^m) \Delta \mathbf{m}_{t,t-1}], \quad (4)$$

donde  $\mathbf{m}$  se define de función del tipo de evento: en el caso de un shock sobre la oferta laboral en un conjunto de sectores  $\mathbf{m} = \mathbf{l}$ ; mientras que si el evento disruptivo tiene lugar en las ventas de un sector localizado en un país específico, lo que se ve afectado es  $\mathbf{a}^m = \mathbf{a}_i^r$ , con  $\mathbf{r}, \mathbf{i}$  iguales al país-sector que ya no realiza envíos externos. La variación entre el período previo al shock y aquel en el que el mismo tiene lugar está dada por  $\Delta \mathbf{m}_{t,t-1} = \Delta \mathbf{a}_i^r$ . Por lo tanto, para cada tipo de shock las expectativas de corto plazo quedan determinadas por:

$$\mathbf{x}_t^{e,CP,1} = \mathbf{x}_{t-1}^d + \mathbf{A} [\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^l) \Delta \mathbf{l}_{t,t-1}], \quad (5)$$

$$\mathbf{x}_t^{e,CP,2} = \mathbf{x}_{t-1}^d + \mathbf{A} [\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}_i^r) \Delta \mathbf{a}_i^r_{t,t-1}]. \quad (6)$$

Luego, cada sector  $j$  calcula la cantidad de insumos que necesita para la producción en función de estas expectativas a corto plazo, limitado por la cantidad de trabajadores actualmente disponibles que determina la cantidad que realmente pueden emplear. Por lo tanto, realizan pedidos de insumos (nacionales y extranjeros) para fines de producción a corto plazo de acuerdo con

$$[\mathbf{z}_{jt}^d, CP]^C = [\mathbf{a}_j]^C \min \left( x_{jt}^{e,CP}, \frac{l_{jt}}{a_j} \right). \quad (7)$$

Las expectativas a largo plazo,  $\mathbf{x}_t^{e,LP}$ , se modelan como un promedio simple de la demanda pasada durante un total de períodos  $\gamma \in \mathbb{Z}^+$ , con  $\gamma$  uniforme en todos los sectores:

$$\mathbf{x}_t^{e,LP} = \frac{\sum_{i=1}^{\gamma} \mathbf{x}_{t-i}^d}{\gamma}. \quad (8)$$

Estas expectativas impulsan un nivel objetivo de inventarios de insumos que los sectores desean mantener para sostener la producción al nivel esperado a largo plazo durante un horizonte de planificación específico del sector. A partir de ellas, los sectores determinan un nivel objetivo de inventarios, que está dado por

$\beta_j \in \mathbb{Z}^+$  veces la cantidad de insumos intermedios necesarios para producir  $\mathbf{x}_t^{\text{e,LP}}$ , lo que implica el supuesto de que todos los insumos utilizados son almacenables/inventariables. Siguiendo a [Reissl et al. \(2022\)](#) cada sector tiene una velocidad de ajuste de sus inventarios específica, dada por  $\frac{1}{\beta_j}$ , lo que implica que todos los sectores convergen asintóticamente a sus objetivos, pero el ajuste será rápido para los sectores con horizontes de planificación cortos y lento para los sectores con horizontes largos. Formalmente, la demanda del sector  $j$  de los insumos –nacionales y extranjeros– necesarios para la planificación de la producción a largo plazo está dada por:

$$[\mathbf{z}_{jt}^{\text{d,LP}}]_{\mathbf{C}} = \frac{1}{\beta_j} \left( \beta_j \mathbf{a}_j^{\mathbf{C}} x_{jt}^{\text{e,LP}} - [\mathbf{z}_{jt}^{\text{inv}}]_{\mathbf{C}} \right). \quad (9)$$

La producción en  $t$  se realiza con existencias de insumos materiales que vienen de  $t-1$  y la mano de obra disponible en  $t$  (en ausencia de shocks dada por  $\mathbf{x}_t^{\text{e,CP}}$ ). La producción máxima para cada sector en  $t$  está determinada por  $\mathbf{x}_t^{\text{max}}$ , mientras que la producción bruta está dada por el mínimo entre  $\mathbf{x}_t^{\text{max}}$  y la demanda total de los productos de cada sector  $\mathbf{x}_t^{\text{d}}$ . Por lo tanto, la producción puede ser inferior a la demanda ante una restricción a la mano de obra o en otros insumos.

## 2.4 Demanda final

La demanda final ( $\mathbf{y}_t$ ) se define como la suma entre el consumo ( $\mathbf{c}_t$ ) y la inversión ( $\mathbf{i}_t$ ). La inversión se define como una función lineal de la desviación del producto total  $\mathbf{x}_{t-1}$  de su nivel de referencia  $\bar{\mathbf{x}}$  (producción obtenida directamente de la tabla insumo producto entre países empírica). La demanda de inversión se determina de acuerdo con

$$\mathbf{i}_t = \tilde{\mathbf{i}} + \delta \frac{\tilde{\mathbf{i}}}{\eta' \tilde{\mathbf{i}}} (\eta' \mathbf{x}_{t-1} - \eta' \bar{\mathbf{x}}), \quad (10)$$

donde  $\tilde{\mathbf{i}}$  es el vector de demanda de inversión sectorial tomado de la tabla insumo producto entre países empírica,  $\delta$  es un parámetro que determina la magnitud de la reacción de la demanda de inversión a los cambios en la producción, y  $\eta$  es un vector suma con todos los elementos iguales a uno. De esta manera, los cambios en la demanda de inversión agregada, dados por  $\delta (\eta' \mathbf{x}_{t-1} - \eta' \bar{\mathbf{x}})$ , se distribuyen entre los sectores productivos de acuerdo con las participaciones sectoriales en la demanda de inversión tomadas de la matriz insumo producto observada.

El consumo se compone de una parte endógena ( $\mathbf{c}_t^1$ ) y otra exógena ( $\mathbf{c}_t^2$ ). La parte endógena corresponde al consumo inducido por la remuneración a los trabajadores, mientras que el componente exógeno se calcula como un remanente para asegurar que  $\mathbf{c}_t^1 + \mathbf{c}_t^2 = \tilde{\mathbf{c}}$  y, por lo tanto,  $\mathbf{x}_t = \bar{\mathbf{x}}$ . Formalmente, el componente endógeno se calcula a partir de una matriz  $\mathbf{H}$  que vincula el vector de producto  $\mathbf{x}_{t-1}$  con el componente endógeno del consumo. Formalmente:

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_t^1 &= \mathbf{H} \mathbf{x}_{t-1} \\ \mathbf{c}_t^2 &= \tilde{\mathbf{c}} - \mathbf{H} \bar{\mathbf{x}} \end{aligned} \quad (11)$$

con  $\tilde{\mathbf{c}}$  el consumo total sectorial obtenido de los valores empíricos observados en la tabla insumo producto entre países.

Dado un país  $s$ , cada unidad de su producción bruta puede consumirse como un bien final o usarse como un bien intermedio en el país o en el extranjero:

$$\mathbf{x}^s = \sum_r^n (\mathbf{A}^{\text{sr}} \mathbf{x}^r + \mathbf{y}^{\text{sr}}) \quad (12)$$

donde  $\mathbf{y}^{\text{sr}}$  es la demanda de bienes finales que producidos en  $s$  y destinados al país  $r$ . El país  $r$  puede ser el mismo  $s$  o cualquier país importador. Entonces, la relación básica entre la producción bruta y la demanda final viene dada por:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y}, \quad (13)$$

lo que se encuentra en línea con el modelo estándar insumo-producto de [Leontief \(1986\)](#), donde  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  es la inversa de Leontief “global” de dimensión  $nk \times nk$  que mide las unidades totales de producción bruta en los países-sectores de origen necesarias para producir una determinada unidad de bienes/servicios finales. Representa toda la producción bruta producida en todas las rondas de producción, como  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \simeq \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots$ , siendo esta su aproximación en serie de potencias de Leontief. La respuesta de un sistema estándar de Leontief ante un cambio en la demanda final puede ser aproximado mediante:

$$\Delta \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \Delta \mathbf{y} \simeq (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots) \Delta \mathbf{y} = \Delta \mathbf{y} + \mathbf{A}^2 \Delta \mathbf{y} + \mathbf{A}^3 \Delta \mathbf{y} + \dots \quad (14)$$

donde  $\mathbf{x}$  es el vector de producción sectorial e  $\mathbf{y}$  es el vector de demanda final. La interpretación económica de esta formulación es que cada término sucesivo en la aproximación en serie de potencias representa la magnitud del impacto, ronda por ronda, de un cambio en la demanda final sobre la producción sectorial. El primer término indica que la producción se adapta a los niveles de demanda, mientras que el segundo término captura el efecto indirecto de primer orden. Esto es, dado que la producción sectorial cambió, la demanda de insumos también cambia, induciendo un mayor ajuste en la producción de los sectores y así sucesivamente. El efecto total sobre la producción bruta eventualmente converge a la solución analítica del modelo de Leontief.

### 3 Estimación del modelo y especificación de los shocks

Para la estimación y análisis de simulación del modelo, se utilizan las matrices insumo-producto entre países de la OECD (ICIO, por sus siglas en inglés, *Intercountry Input-Output table*)<sup>5</sup>. La base de datos posee información de las transacciones sectoriales a nivel nacional e internacional para 71 países y 45 sectores. Dadas las limitaciones de la calibración empírica respecto a la información disponible para algunos países, trabajamos con 36 países y agrupamos el resto en “resto del mundo”. Por lo tanto, en nuestro análisis tenemos  $k = 44$ <sup>6</sup> y  $n = 37$ . La desagregación sectorial es *ad-hoc*, pero tiene su correspondencia con el Clasificador Internacional Industrial Uniforme (CIIU) Rev. 4 a dos dígitos. Utilizamos la versión más reciente (noviembre de 2021) que abarca los años 1995 a 2018.

Para la estimación de la matriz  $\mathbf{H}$  que permite estimar el consumo endógeno en nuestro modelo (ver ecuación (11)), utilizamos esta misma base de datos, en conjunto con la información sobre la remuneración a los trabajadores por sector y el número total de empleados por sector que brinda la OECD. Seguimos una adaptación del enfoque propuesto por [Miyazawa \(1968\)](#), dado que no contamos con la información completa para aplicarlo plenamente. Como primer paso estimamos la remuneración sectorial bruta de los trabajadores por unidad de producción, y luego descontamos los impuestos netos de subsidios calculados también por unidad de producto. Finalmente, multiplicamos estos valores por la propensión al consumo media de cada sector-país específico, calculadas a partir de los datos de la matriz ICIO. Como resultado, obtuvimos la matriz  $\mathbf{H}$ , que al multiplicarla por  $\mathbf{x}$  nos da un vector que representa la demanda de consumo inducida por la remuneración de los trabajadores que recibe cada sector.

En líneas generales, seguimos el procedimiento de estimación de [Reissl et al. \(2022\)](#) y realizamos algunas simplificaciones para reducir la dimensionalidad del espacio e identificar los parámetros ([Grazzini y Richiardi, 2015](#)). Como se mencionó previamente, el sector  $j$  utiliza el parámetro específico del sector  $\beta_j \in \mathbb{Z}^+$  para determinar su stock objetivo de inventarios de insumos intermedios en términos de períodos de producción futura, al momento de realizar sus pedidos para la acumulación de inventario de insumos en función de las expectativas a largo plazo. En la estimación, restringimos a  $\beta_j$  para que sea uniforme en todos los sectores que forman parte de los siguientes grupos (1) agricultura (sectores 1 y 2), (2) minería (sectores 3 a 5) (3) industria manufacturera (sectores 6 a 22), (4) energía y agua (sectores 23 y 24), (5) construcción (sector 25) y (6) servicios (sectores 26 a 44). Los parámetros restantes son  $\delta$ , que da

<sup>5</sup>Remitimos al lector interesado a [Guilhoto et al. \(2022\)](#) para mayores detalles acerca de la construcción y utilización de esta base de datos.

<sup>6</sup>Excluimos del análisis al sector “Actividades de hogares privados como empleadores y actividades no diferenciadas de hogares privados como productores”.

el grado en que la inversión reacciona a los cambios en la producción, y  $\gamma$ , que identifica el número de observaciones pasadas incluidas en las expectativas de demanda a largo plazo, lo que da un total de ocho parámetros a estimar.

Para determinar los valores de estos parámetros utilizamos un algoritmo inspirado en el método de momentos simulados (MMS) (Gilli y Winker, 2003). El objetivo es encontrar un vector de parámetros tal que se minimice la distancia (ponderada) entre un conjunto de momentos elegidos para las estadísticas calculadas a partir de datos empíricos y simulados. Es decir, se busca la combinación de parámetros para la cual un modelo dado es capaz de reproducir las características generales de una o más series de tiempo empíricas en términos de sus momentos, como la desviación estándar o estructuras de autocorrelación. La selección de estadísticas en este trabajo, fue elaborada para resumir algunas características relevantes de la crisis por la pandemia de COVID-19 y aquella derivada por el conflicto entre Rusia y Ucrania que se manifiestan de manera heterogénea a nivel sectorial. De esta manera, el modelo podría constituir una herramienta útil para evaluar, por ejemplo, los posibles efectos futuros en términos de pérdida de producción sectorial de medidas similares a las de aislamiento social obligatorio o a la decisión de no adquirir más bienes de un determinado país.

Utilizamos índices mensuales de producción sectorial, agrupados de la manera en la que se describió previamente para el caso del parámetro  $\beta$ , desagregación que se encuentra presente en las estadísticas disponibles. Las fuentes de información fueron las siguientes:

1. La base de datos de Eurostat para los grupos de sectores (2) a (6) para 31 de los 36 países modelados. Índices de producción mensual.
2. Para el caso del sector agrícola se recurrió a las bases de datos de la FAO, que proveen información cuatrimestral, para 26 de los 36 países estudiados.
3. Finalmente, se recurrió a las estadísticas nacionales para los casos de Canadá, Japón, Estados Unidos, China y Rusia; obteniendo índices cuatrimestrales de producción para los sectores (3), (4) y (6).

Estos datos nos permiten calcular los índices de producción durante el período considerado para los sectores representados en el modelo. Las series temporales empíricas se utilizan luego para calcular las siguientes estadísticas, que se emplean como momentos en el procedimiento de estimación: (1) la caída máxima en cada uno de los índices mensuales de producción; y (2) estadísticas calculadas aplicando el algoritmo GSL-div desarrollado por Lamperti (2018) –que da una medida de la similitud de la forma de dos series de tiempo– a las series de tiempo empíricas para la producción industrial y sus contrapartes simuladas. El primer elemento captura la profundidad de la recesión para cada sector (de manera agregada, de acuerdo a los datos disponibles), mientras que el segundo proporciona una evaluación cuantitativa sintética de la similitud general entre las series temporales empíricas y simuladas para la producción mensual, por lo que evalúa la capacidad del modelo para igualar la velocidad de la caída y la recuperación posterior al shock.

Dado que no es posible aplicar las teorías asintóticas existentes para MMS al procedimiento de estimación, por la naturaleza y extensión de las series temporales utilizadas, adoptamos una matriz de ponderación pre-especificada en lugar de la matriz “óptima/eficiente” (Reissl *et al.*, 2022). En particular, hacemos uso de una matriz de ponderación que emplea la participación de la producción sectorial en la producción total como una medida simple de la importancia de los diferentes sectores y ponderar las estadísticas correspondientes en consecuencia. Al respecto, Cochrane (2009, p. 210-215) señala que la matriz de ponderación óptima puede otorgar “*mucho peso a aspectos mal estimados, económicamente poco interesantes o no robustos de la data*”, cuando al contrario lo que se busca es “*forzar la estimación y evaluación para prestar atención a los momentos económicamente interesantes*”. En este sentido, destaca que el uso de una matriz predefinida “*permite enfatizar resultados económicamente interesantes*”, al tiempo que se obtienen estimaciones “*consistentes y pueden ser más robustas a problemas estadísticos y económicos*”. Esta información se obtiene directamente de la matriz insumo producto observada empíricamente (tabla ICIO-OECD).

A continuación se describe la especificación de los dos tipos de shocks considerados.

### 3.1 Interrupción del normal funcionamiento de sectores productivos

En primer lugar, modelamos un shock que afecta a un conjunto de sectores en distintos países del mundo. Modelamos el shock como una restricción sobre la oferta disponible de mano de obra, que se trasladará a la producción real y también a la demanda final. Tomamos como ejemplo el caso de las restricciones sectoriales en el marco de la pandemia por COVID-19 para la selección de los sectores impactados en el escenario base, lo que nos permite calibrar el modelo en base a la evolución empírica de la producción sectorial.

Dado que la fuerza laboral inicial  $\mathbf{l}$  de cada sector se normaliza en 100, los shocks sobre la oferta laboral se definen como desviaciones porcentuales de ese nivel de referencia. Por ejemplo, un shock negativo del 10% para un sector implica una reducción absoluta de 10 unidades laborales. El empleo del sector se mantiene constante en 90 unidades durante el evento disruptivo y luego vuelve a su valor normalizado. Específicamente, definimos el shock sobre la mano de obra para el período que abarca entre  $t = 14$  y  $t = 18$ ; esto corresponde a 5 semanas calendario o un mes<sup>7</sup>.

Formalmente, sea  $\tilde{\mathbf{l}}_t$  la cantidad de mano de obra disponible para cada sector en cada economía en el período  $t$ , y  $\epsilon_t$  el shock a la oferta laboral que ocurre en ese período, expresado como una desviación porcentual de  $\tilde{\mathbf{l}}$ . Los shocks toman lugar de manera inmediata en el período en que están definidos, por lo que si alcanza al sector  $j$  la oferta de trabajo se encontrará por debajo del nivel inicial  $\tilde{\mathbf{l}}$ , es decir  $\mathbf{l}_{jt-1} + \tilde{\mathbf{l}} \frac{\epsilon_{jt}}{100} < \tilde{l}_j$ . Por lo tanto,  $\mathbf{l}_t$  estará dado por:

$$\mathbf{l}_t = \left( \mathbf{l}_{t-1} + \tilde{\mathbf{l}} \circ \frac{\epsilon_t}{100} \right), \quad (15)$$

donde  $\circ$  indica multiplicación elemento por elemento<sup>8</sup>.

La caída en los pedidos de insumos (demanda intermedia) que enfrenta un sector del resto de los sectores productivos puede obtenerse pre-multiplicando la matriz de insumos  $\mathbf{A}$  por cuánto se ve afectada la disponibilidad de mano de obra de los distintos sectores, lo cual está dado por  $\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^1) \Delta \mathbf{l}_{t,t-1}$ . Esto se incorpora en las expectativas de corto plazo, como lo establece la ecuación (5).

Para determinar la magnitud de los shocks, en primer lugar construimos una medida de la participación de la mano de obra que deja de estar disponible, para cada uno de los 44 sectores y 36 países, considerando inicialmente los sectores específicos sobre los que hubo cierres obligatorios durante la pandemia de COVID-19. Para ello, utilizamos las estimaciones provistas por [del Río-Chanona et al. \(2020\)](#), y las asignamos a los sectores productivos en los distintos países que forman parte del modelo<sup>9</sup>. Esta estimación fue realizada para poder estimar y calibrar el modelo en este escenario.

Finalmente, respecto al período de las series empíricas para la estimación/calibración del modelo bajo este tipo de shock, tomamos aquel que abarca desde enero de 2020 a diciembre de 2020, lo que da un período de un año (es decir, 12 meses o 53 semanas).

### 3.2 Interrupción en el suministro internacional en un país

En el segundo tipo de evento, modelamos una interrupción completa del suministro de los bienes de un sector localizado en un país en particular. Este shock lo modelamos como una restricción al comercio internacional para el sector energético de un país específico. Tomamos como base, el caso de la escalada del conflicto entre Rusia y Ucrania que tuvo su estallido hacia fines de febrero de 2022, y que fue el puntapié inicial para la toma de medidas a modo de sanciones económicas por parte de diferentes países, centralmente, de la Unión Europea<sup>10</sup>. Al igual que con el caso de la interrupción en el normal

<sup>7</sup>La extensión en el tiempo y momento en el que el shock toma lugar, fue seleccionado de acuerdo al período donde coincidieron las mayores restricciones sobre los sectores productivos (centralmente industriales). Para más detalles sobre cómo fueron los pasos en el caso de la pandemia por COVID-19, se puede consultar [del Río-Chanona et al. \(2020\)](#), quienes toman el modelo italiano, o las estadísticas sobre la pandemia de la OECD. Aquí intentamos representarlo solo de modo general.

<sup>8</sup>Para el caso de los sectores que no son alcanzados por el shock la oferta laboral en las simulaciones se determina como  $\max(\tilde{\mathbf{l}}, \mathbf{x}_t^{\text{e,CP}} \circ \mathbf{a}^1)$ .

<sup>9</sup>[del Río-Chanona et al. \(2020\)](#) estiman la proporción de trabajadores en cada industria que se vieron afectados por las restricciones de movilidad, considerando la definición de sectores esenciales y no esenciales de países de Europa Occidental y el Índice de Trabajo Remoto.

<sup>10</sup>Para más detalles sobre este conflicto ver, por ejemplo [D'Anieri \(2023\)](#), o [Mottaleb et al. \(2022\)](#) y [Umar et al. \(2022\)](#) para exploraciones empíricas sobre sus consecuencias económicas.

funcionamiento de determinados sectores productivos, basarnos en este hecho histórico nos permite calibrar el modelo en base a la evolución empírica real de la producción y comercio sectoriales.

Este shock está modelado como una caída en la disponibilidad de energía. Es decir, se remueven los links que conectan al sector energético en Rusia con los distintos sectores europeos. Esto hace que para la producción en general tengan menor disponibilidad de este bien, el cual requieren en una proporción determinada (recordar que la función de producción es de coeficientes fijos). El shock implica una pérdida de este insumo de la proporción que representa Rusia en lo que le demanda cada sector a dicho país. Dado que la energía es un bien básico en todo proceso productivo –especialmente industrial– y que el modelo no admite su sustitución en el corto plazo (aunque sí, la acumulación de inventarios), esto hace caer la producción en los sectores anteriormente conectados ante la imposibilidad de sustitución inmediata y se refleja en la demanda intermedia del modelo. Éste análisis se desarrolla en línea con el proceso de “eliminación de links” (ver [Bellingeri et al., 2020](#), por ejemplo).

Si bien usualmente las estrategias de remoción de vínculos se aplican para evaluar la robustez de la red e identificar los links más relevantes para la estabilidad de la misma, en este caso procederemos a eliminarlos de manera direccionada. Específicamente, planteamos un escenario en el que se ven interrumpidas las exportaciones de energía de Rusia a los países Europeos, similar al escenario más disruptivo planteado por [Bouwmeester y Oosterhaven \(2017\)](#).

Formalmente, esta estrategia implica igualar a cero los elementos de la matriz  $\mathbf{Z}$  que indican la existencia de un vínculo entre el sector energético ruso y los países europeos, como lo indica la ecuación (16). Asimismo, se iguala a cero la demanda final de los bienes de este sector-país por parte de las economías europeas.

$$\sum_j^{r,s \in EU} z_{ij}^{rs} + y_i^{rs} = 0, \text{ para } i \in \{23\text{-Electricidad y gas natural; } 03\text{-Minas-energéticos}\}, \quad (16)$$

donde  $EU$  indica el conjunto de países pertenecientes a Europa. Los índices  $r$  y  $s$  indican país de origen (es decir, Rusia) y destino, respectivamente. Por último, el índice  $j$  refiere al sector de destino (demandante de energía rusa).

Finalmente, respecto al período de las series empíricas para la estimación/calibración del modelo bajo este tipo de shock, tomamos aquel que abarca desde diciembre de 2021 a noviembre de 2022.

### 3.3 Descripción general de la configuración del modelo

El Cuadro 1 muestra una descripción general de los elementos del modelo. Para modelar ambos tipos de shock mantuvimos una economía compuesta por 37 países y 44 sectores, como se especificó previamente. La secuencia de eventos descrita en la sección 2.1 se repite a lo largo de 53 períodos, cuya unidad temporal es de una semana.

En ambos casos se considera al número sectorial de trabajadores como un numerario, para simplificar la estimación del modelo y determinación de los shocks de oferta. Asimismo, hay un conjunto de variables que se determinan de manera exógena, es decir que son tomadas directamente de la matriz insumo producto empírica (tabla ICIO-OECD). Estos valores son nacionales y sectoriales, por lo que el cuadro solo muestra el valor de la mediana<sup>11</sup>.

Finalmente, se pueden observar los valores de los parámetros de la combinación obtenida en el proceso descrito en la sección 3, para ambos tipos de shock considerados. En ambos casos –aunque con mayor énfasis en el primer shock modelado– el valor de  $\gamma$  sugiere cierta estabilidad en las expectativas a largo plazo y una reacción débil de las mismas ante cambios transitorios en las ventas.

## 4 Resultados de la simulación

En la presente sección, realizamos simulaciones del modelo presentado en las secciones previas para evaluar, por un lado, el impacto de un shock sobre un conjunto de sectores productivos en diferentes

<sup>11</sup>Los valores específicos para cada sector-país pueden encontrarse en la tabla ICIO de la OECD correspondiente al año 2018.

Cuadro 1: Valores de los parámetros y otros elementos necesarios para la estimación del modelo, dos tipos de shock.

Denominación	Descripción	Shock Tipo 1	Shock Tipo 2
<b>Agentes</b>			
<b>n</b>	Número de países	37.00	37.00
<b>k</b>	Número de sectores	44.00	44.00
<b>T</b>	Longitud temporal de las simulaciones	53.00	53.00
<b>Parámetros</b>			
$\delta$	Parámetro de ajuste de la inversión	0.06	0.09
$\gamma$	Expectativas de largo plazo	46.00	31.00
$\beta_{agro}$	Agricultura, inventarios deseados	18.00	21.00
$\beta_{min}$	Minería, inventarios deseados	16.00	18.00
$\beta_{ind}$	Manufacturas, inventarios deseados	13.00	17.00
$\beta_{ener}$	Energía, inventarios deseados	25.00	26.00
$\beta_{cons}$	Construcción, inventarios deseados	25.00	28.00
$\beta_{serv}$	Servicios, inventarios deseados	11.00	19.00
<b>Numerario</b>			
$\bar{I}$	Trabajo sectorial, valor inicial	100.00	100.00
<b>Valores matriz</b>			
$\bar{x}$	Producción sector-país, mediana	7257.00	7257.00
$\bar{c}$	Consumo total sector-país, mediana	0.12	0.12
$\bar{z}$	Demanda intermedia sector-país, mediana	8.07	8.07
$\bar{i}$	Inversión total sector-país, mediana	5.93	5.93

Nota: los valores obtenidos de la matriz insumo producto se expresan en millones de dólares.

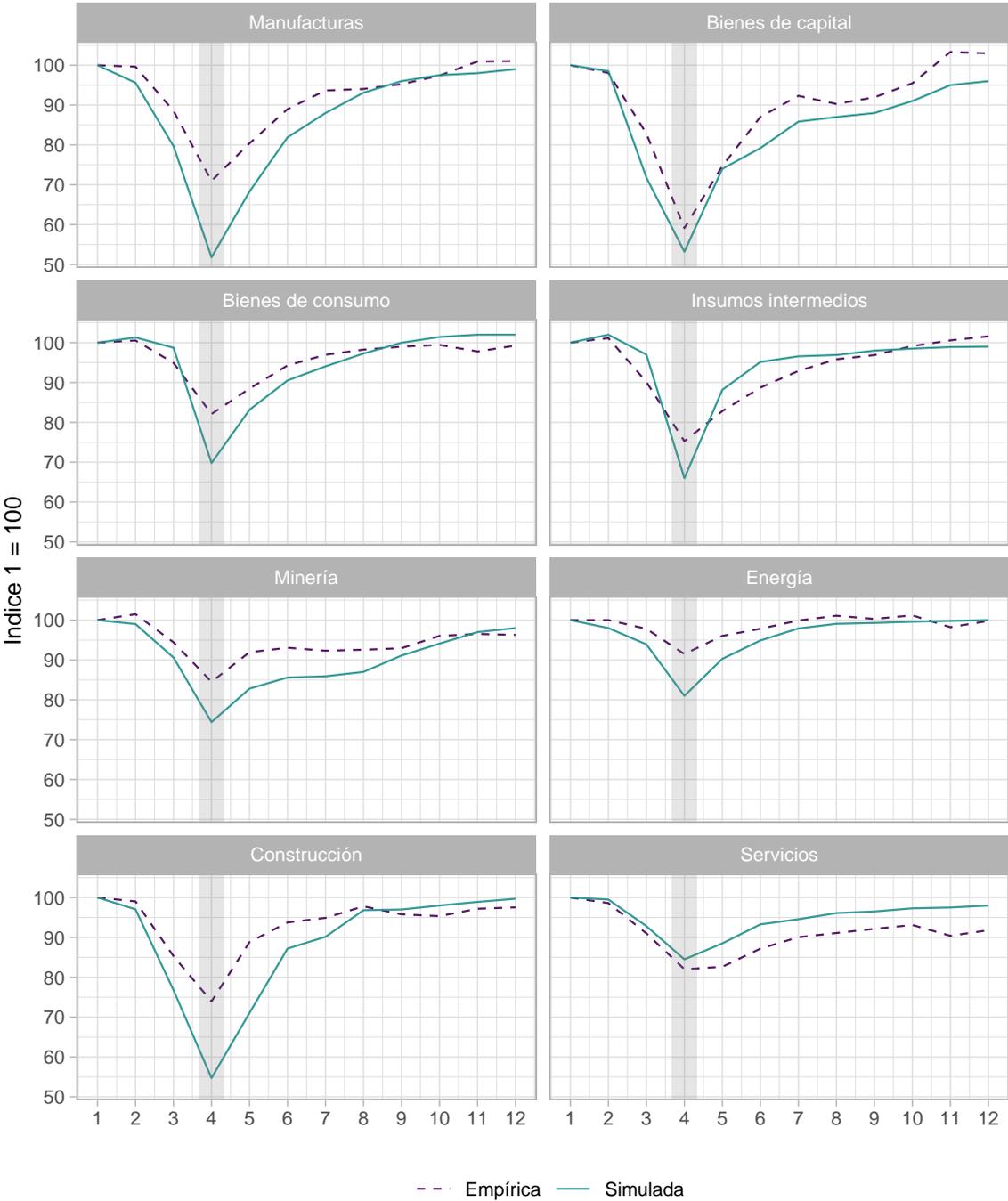
países del mundo, tomando el caso de la pandemia de COVID como base; y, por el otro, el impacto de un shock que afecte la interrupción del suministro de un sector por parte de un país en el comercio internacional.

#### 4.1 Shock 1: Shock sobre la oferta de trabajo sectorial

La Figura 2 muestra una comparación de la evolución de la producción sectorial simulada (mensualizada) en el modelo y la empírica (mensual, para el período enero-2020 a diciembre-2020). En líneas generales, se observa una caída repentina de la actividad económica –representada por la producción sectorial– en el momento en que el shock sobre la mano de obra tiene lugar. Si bien todas las industrias continúan luego en un sendero de recuperación, este es asimétrico a lo largo de ellas. Como puede observarse, en la mayoría de los casos el modelo puede reproducir tanto la caída de la producción como la recuperación posterior. No obstante, también se observan instancias en las que el modelo no logra reproducir la dinámica observada. Esto se debe a que el modelo no puede capturar algunas características específicas de las recesiones inducidas por un evento como lo fue la pandemia por COVID-19, en la que se conjugaron más factores al confinamiento que restringieron la oferta laboral (único shock directo incorporado en este análisis). Por ejemplo, las limitaciones obligatorias y voluntarias a la movilidad de los consumidores probablemente impedían o desalentaban el consumo de ciertos tipos de bienes y servicios, algo que en el modelo no está representado. En líneas generales, se observa una correlación significativa entre los productos de diferentes sectores tanto en los datos empíricos como en los simulados.

A nivel agregado, el modelo establece una reducción en la producción bruta global del 32.1%, en el mes 4 respecto del período de inicio (mes 1). Si bien la unidad de tiempo en las simulaciones es una semana, se mensualiza este valor a fines de poder compararlo con la información empírica. La caída en la producción entre enero y abril de 2020 observada en los datos empíricos para el total de países considerados en la muestra fue del 28.3%. Este efecto total sobre la producción se explica por el efecto directo del shock –es decir, de la reducción en la oferta laboral disponible para un conjunto de sectores–, pero también por los efectos indirectos o de orden superior que tienen lugar por el hecho de que los distintos sectores y países, se encuentran conectados a través de relaciones comerciales. A continuación, intentamos acercarnos a la contribución relativa de los efectos directos e indirectos –es decir, los efectos

Figura 2: Evolución de la producción sectorial en los datos simulados y empíricos. Sectores seleccionados.



de orden superior– para diferentes industrias y países, con el objetivo de comprender mejor los factores que impulsan y/o amplifican a las fluctuaciones económicas tanto a nivel local como global<sup>12</sup>.

Se busca identificar cuánto de la caída en la producción se debe al shock en sí mismo y cuánto se explica por la caída en la demanda intermedia del resto de los sectores. Así buscamos evaluar el efecto indirecto que se debe a la interrupción o reducción del peso de links productivos en eslabonamientos complejos. Para ello, en primer lugar, definimos el efecto directo sobre la producción ( $\Delta \mathbf{x}_{t,t-1}^{\text{dir}}$ ) como la caída en la misma que se produce como consecuencia únicamente de las restricciones de oferta en la mano de obra en determinados sectores. Por simplicidad en la notación, denotamos la variación de manera general como  $t, t-1$ , pero con esto nos estamos refiriendo a la variación respecto al período previo (de la misma extensión) a aquel en el que el shock toma lugar. Como mencionamos previamente, el shock (restricciones asimétricas a la oferta de trabajo sectorial) se mantiene durante el período que abarca  $t \in [14, 18]$ , es decir 5 semanas o un mes.

El trabajo es un factor productivo en la función de producción –como lo expresa la ecuación (3)–, por lo que la variación/caída en la producción como consecuencia en la reducción de este factor puede expresarse como:

$$\Delta \mathbf{x}_{t,t-1}^{\text{dir}} = \text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^1) \Delta \mathbf{l}_{t,t-1}. \quad (17)$$

Es decir, que la caída en la producción explicada por el efecto directo del shock es proporcional a la reducción en la mano de obra disponible para cada sector. Esto se justifica porque los shocks exógenos sobre la oferta de trabajo conducen a una reducción inmediata de la producción bruta.

Por otro lado, identificamos al efecto indirecto o de orden superior del shock, que es aquel que surge endógenamente por el hecho de que los distintos sectores se encuentran interconectados por relaciones comerciales. El efecto indirecto en sí depende del tiempo y de cómo los sectores económicos se van ajustando a los cambios en la demanda de insumos intermedios por parte del resto de los sectores, localizados tanto localmente como en el exterior. No obstante, en nuestro modelo es posible identificar una parte del mismo en el momento  $t$  en que el shock toma lugar, debido a cómo están especificadas las expectativas de corto plazo. Para analizar la descomposición del shock, tomamos el último período en el cual se mantuvieron las restricciones de oferta a la mano de obra; ya que los valores en este período conservan la información del proceso de amplificación del shock. Como lo expresa la ecuación (4), las expectativas de corto plazo –que determinan el nivel de producción en el período  $t$ – incorporan la caída en los pedidos de insumos como consecuencia del shock en la oferta laboral de sectores vinculados a ellos. Como se mencionó previamente, esto se obtiene pre-multiplicando la matriz de insumos  $\mathbf{A}$  por cuánto se ve afectada la disponibilidad de mano de obra de los distintos sectores como consecuencia del shock (efecto directo):

$$\mathbf{A} [\text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^1) \Delta \mathbf{l}_{t,t-1}]. \quad (18)$$

Por lo tanto, el efecto indirecto o de orden superior estará determinado por cuánto cae la producción como consecuencia de la caída de la demanda de insumos intermedios del resto de los sectores. En este sentido, el alcance y magnitud del efecto indirecto depende de cuán interconectada está una industria con el resto de los sectores y el peso que tienen esos vínculos en la red de relaciones comerciales intersectoriales. Esto está expresado en la matriz  $\mathbf{A}$ . Es importante tener en cuenta que este efecto sobre la producción tiene lugar en cada unidad de tiempo  $t$  en la que se mantengan las restricciones a la mano de obra.

En la Figura 3 se presenta una comparación del cambio en la producción sectorial, distinguiendo entre aquel impulsado por el efecto directo y el indirecto. El primero se representa en el eje horizontal, el efecto indirecto se observa en el eje vertical y el tamaño del círculo corresponde a la producción bruta inicial de los diferentes sectores. Por cuestiones expositivas agregamos las ramas productivas, independientemente del país de origen. El efecto directo –es decir, el shock inicial sobre la oferta de trabajo– es el mismo, ya que se trató de la misma manera a cada sector en las diferentes localizaciones geográficas. Ahora bien, el efecto indirecto incorporado considera el asociado a los vínculos con otros sectores tanto a nivel local como global.

---

<sup>12</sup>A fines expositivos, especificamos los efectos sobre la producción bruta, los efectos sobre otras variables como la demanda intermedia, el consumo o la inversión, pueden encontrarse de manera análoga.

Como puede observarse, los sectores ubicados en el extremo superior derecho de la Figura 3 se ven levemente afectados por el shock sobre la oferta de trabajo, ya que el tamaño del efecto total sobre la producción es relativamente pequeño. Entre las ramas incluidas en este grupo se destacan el sector de intermediación financiera (con un efecto indirecto cercano al 10%), la distribución de agua potable y tratamiento de residuos (con un efecto indirecto del 11%) y el sector de pesca (con un efecto indirecto del 15%). En todos estos casos, el efecto directo es igual a cero, mientras que el efecto indirecto no supera el 15%.

Luego, se observa un conjunto de sectores dispersos a lo largo del eje horizontal que experimentan un impacto directo sustancial, pero que no se ven tan afectados por los efectos de orden superior o indirectos. Esto quiere decir que se han visto fuertemente restringidos en lo que hace a la movilidad de la fuerza de trabajo, con pocas posibilidades de realizar trabajo remoto. Al mismo tiempo, se trata de industrias donde el efecto de la caída de la demanda de insumos por parte de otras ramas no ha sido altamente relevante para determinar su propio nivel de producción. Este grupo incluye, entre otros sectores, a la industria maderera, el sector de turismo (hoteles y restaurantes), y la producción de metales básicos. Centralmente, se trata de distintas ramas de la industria manufacturera. En líneas generales, la capacidad productiva de los sectores identificados en este grupo se ha visto limitada por el impacto directo en la oferta de trabajo y no tanto por efectos indirectos.

Finalmente, se puede identificar un último grupo de sectores productivos dispersos a lo largo del eje vertical. Estos sectores se vieron afectados de manera directa por el shock en menor medida, pero su producción cae sustancialmente al final del período en el que el evento disruptivo tiene lugar, como consecuencia de un importante efecto indirecto. Entre esas industrias se encuentran los tres sectores de transporte (aéreo, marítimo y terrestre), el sector de telecomunicaciones, de almacenamiento y los servicios sociales y de salud. Claramente, los sectores que conforman este grupo han sido declarados como “esenciales” al momento de determinar sobre qué sectores y orden de magnitud recaerían las restricciones de oferta de mano de obra, por lo que el efecto directo en la caída de la producción es reducido. No obstante, se han visto afectados por el impacto indirecto, asociado a una caída de la demanda de insumos intermedios al verse reducida la producción en otros sectores.

El Cuadro 2 resume lo analizado en la Figura 3. Específicamente, muestra la descomposición del efecto de un shock sobre la oferta laboral en el conjunto de sectores agregados, localizados en distintas partes del mundo, en su efecto directo e indirecto. Allí se puede identificar de manera clara, que la industria manufacturera es la que más afectada se vio por el efecto directo de las restricciones impuestas a la oferta de trabajo. Finalmente, de acuerdo a los resultados de nuestro modelo, la caída de la producción en los diferentes sectores a nivel global se debió principalmente al efecto directo sobre la oferta de mano de obra (62%), mientras que el efecto indirecto (local y global) explica el 38% de la caída en la producción global.

La Figura 4 muestra información similar a la descrita previamente, pero a nivel países. Es decir, se compara el cambio en la producción nacional, distinguiendo entre la proporción del mismo que corresponde al efecto directo y la que corresponde al indirecto. El tamaño del círculo corresponde a la participación en la producción bruta inicial de los diferentes países, dato extraído de la matriz insumo producto empírica (tabla ICIO-OECD). En este caso, el efecto directo sobre la producción a nivel nacional, relaciona de manera directa el tamaño del shock con la relevancia que cada uno de los sectores afectados tiene en la economía nacional. Al igual que antes, el efecto directo incorporado considera el asociado a los vínculos con otros sectores tanto a nivel local como global.

A nivel nacional, sin distinguir entre sectores, no se observa tanta dispersión entre los países como sí se observaba entre las ramas productivas. Cabe mencionar el caso de China, ya que es el país que se vio más afectado por el efecto directo, pero no tanto por el indirecto, como si lo hizo el resto de los países. Esto se explica centralmente, por las ramas que tienen mayor peso en la economía del gigante oriental, que justamente se corresponden con aquellas identificadas previamente como las que tuvieron el menor impacto de orden superior. Mientras que el efecto directo en esta economía fue relevante.

El Cuadro 3 muestra una descomposición adicional de los efectos del shock de acuerdo al alcance geográfico, si es local (nacional) o internacional. Esta última forma de descomposición, nos permite identificar cuánto de la caída de la producción se debe al shock en sí mismo y al hecho de que ha caído la demanda de insumos intermedios por parte de los sectores nacionales, y cuánto se debe al hecho de que se ha reducido el intercambio comercial entre países.

En líneas generales, se observa una mayor preponderancia del efecto indirecto a nivel local para la mayoría de los países (no todos). Es decir, que la mayor parte de la caída en la producción que se da por el efecto

Figura 3: Comparación efecto directo e indirecto del shock sobre la oferta de trabajo, en términos de reducción de la producción sectorial global. En porcentajes.

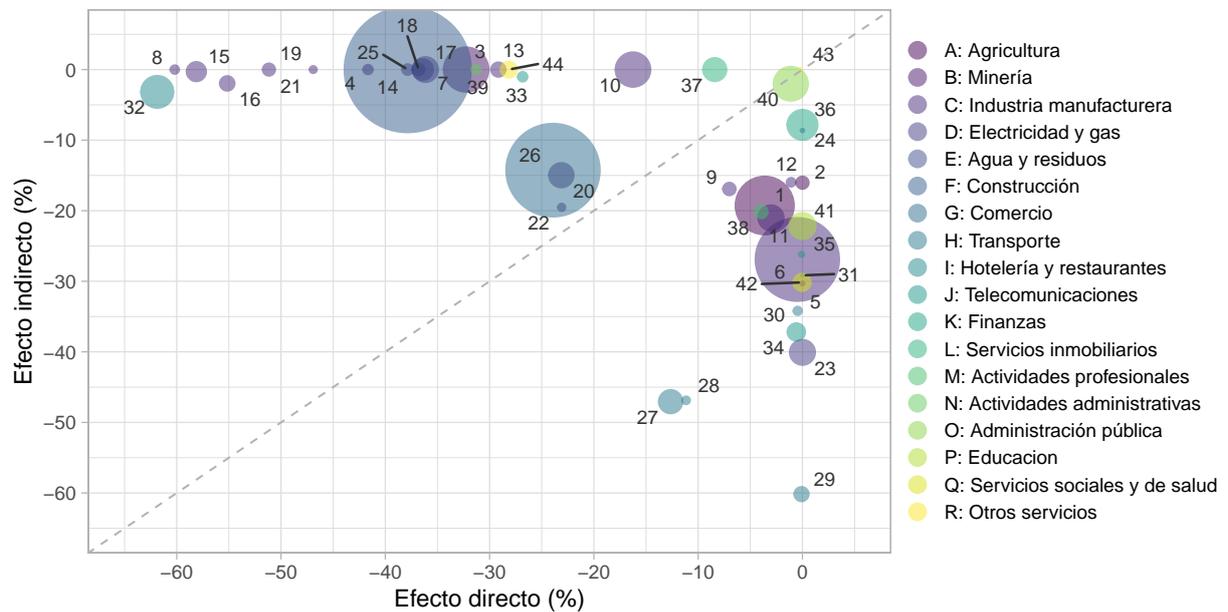
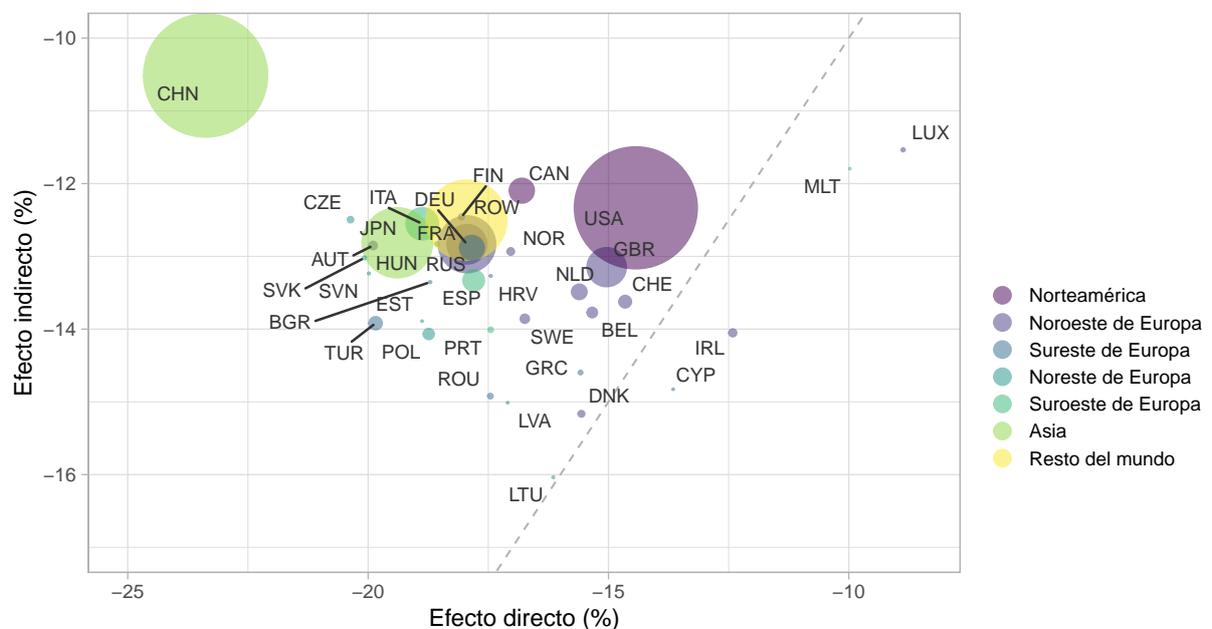


Figura 4: Comparación efecto directo e indirecto del shock sobre la oferta de trabajo, en términos de reducción de la producción nacional. En porcentajes.



Cuadro 2: Descomposición del impacto del shock asimétrico a la oferta de trabajo sobre la producción, en efecto directo e indirecto. Sectores agregados.

Sectores	Efecto directo	Efecto indirecto	Efecto total	Pesos
Agricultura	-3.62	-18.73	-22.35	7.13
Minería	-32.05	-1.52	-33.56	5.68
Manufacturas	-22.43	-11.04	-33.47	33.39
Bienes de capital	-51.16	0.00	-51.16	1.15
Bienes de consumo	-7.33	-21.78	-29.12	10.65
Insumos intermedios	-51.13	-0.19	-51.32	2.88
Energía	0.00	-40.07	-40.07	2.50
Construcción	-37.85	0.00	-37.85	13.11
Servicios	-18.66	-18.39	-37.06	29.79
<b>Total</b>	<b>-19.90</b>	<b>-12.20</b>	<b>-32.10</b>	
<b>Porcentaje</b>	<b>61.99</b>	<b>38.01</b>	<b>100.00</b>	

de orden superior, se explica por el hecho de que ha caído la demanda intermedia del resto de los sectores localizados en el mismo país. A nivel agregado, el efecto indirecto local explica el 32.64% de la caída en la producción, mientras que el indirecto global explica el restante 5.37%.

Del análisis realizado en esta sección, podemos concluir que la relevancia de los efectos directo e indirecto en la determinación del impacto, alcance y propagación de un shock, depende de cada industria y economía en particular. Hay algunos sectores que se vieron fuertemente afectados por las restricciones directas sobre la oferta de trabajo, mientras que otros lo hicieron centralmente por la caída en la demanda. El desempeño en los distintos países, respondió esencialmente al grado de integración de los distintos sectores en la economía global y a la magnitud de los intercambios locales.

## 4.2 Shock 2: Interrupción de suministro exterior en un país-sector

Comenzamos el análisis de los resultados observando la evolución de la producción sectorial simulada y aquella observada empíricamente, que se muestra en la Figura 5. El período para la serie empírica es diciembre-2021 a noviembre-2022 y, al igual que en el caso de la sección previa, mensualizamos los resultados del modelo para hacer comparable su evolución con los datos reales. La Figura 5 muestra específicamente lo acontecido al interior de la industria manufacturera, ya que es el sector más afectado por la interrupción del suministro energético por parte de Rusia. En líneas generales, se puede observar una variación negativa en el período 4 –el cual se corresponde empíricamente con el mes de marzo de 2022–, coincidente en los distintos subsectores seleccionados de la industria manufacturera.

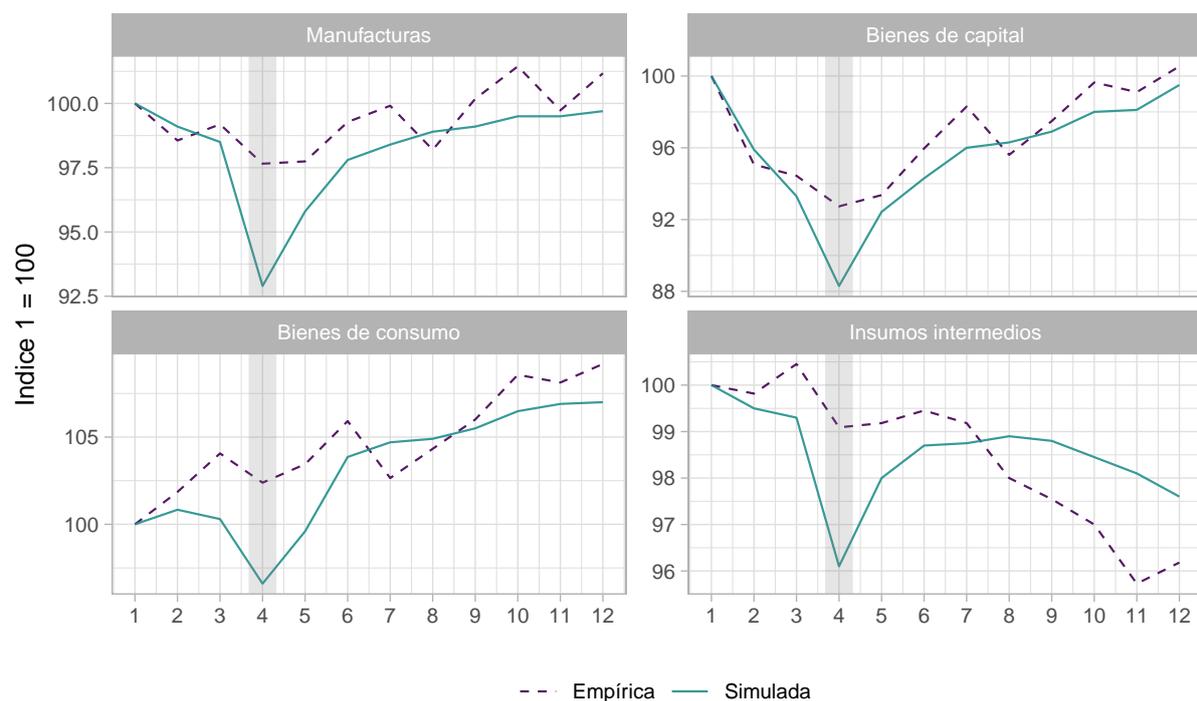
Como puede apreciarse, el modelo es capaz de reproducir de manera aproximada la caída en la actividad industrial observada en el período en que el shock toma lugar. Se modeló un escenario extremo donde el corte en el suministro de energía se da a todo los países europeos, por lo que se observa una sobreestimación del efecto negativo sobre la producción industrial. La escalada del conflicto al plano armado y económico (en términos de la aplicación de sanciones mucho más restrictivas) tuvo su inicio el 24 de febrero de 2022, y si bien las consecuencias de este evento –que se extiende hasta el momento de redacción de este artículo– se sostienen en el tiempo como bien puede observarse en la evolución de la producción real europea, el período que corresponde al inicio del estallido (marzo 2022) tiene la particularidad de reflejar el punto de inflexión que significó este evento histórico. No obstante, una vez que se remueve el shock del modelo es difícil, dada la simplicidad del mismo, que pueda reproducir la dinámica de la producción sectorial. Por lo tanto, se identifican también instancias en las que el modelo no puede reproducir la dinámica observada ni siquiera aproximadamente. Asimismo, es importante considerar que el evento disruptivo representado no tuvo lugar en la actualidad de la forma en la que se modela. Desde diciembre de 2021, los suministros de gas de Rusia han disminuido alrededor de un 30%, pero se han mantenido dentro de los límites contractuales preestablecidos<sup>13</sup>. Es decir, no hubo en el período en cuestión un corte abrupto de la energía suministrada por parte de Rusia a Europa, sino que es lo que usamos para simular el shock y analizar su propagación en nuestra economía.

<sup>13</sup>El mínimo contractual para que Rusia entregue a Europa es de 94 bcm/año.

Cuadro 3: Descomposición del impacto del shock asimétrico a la oferta de trabajo sobre la producción, en efecto directo, indirecto local e indirecto global. Países.

País	Efecto directo	Efecto indirecto			Efecto Total	Pesos
		Local	Global	Total		
Austria	-19.90	-8.86	-3.99	-12.85	-32.75	0.63
Bélgica	-15.34	-8.75	-5.02	-13.77	-29.11	0.83
Canadá	-16.80	-9.46	-2.64	-12.10	-28.90	2.24
República Checa	-20.37	-7.97	-4.52	-12.50	-32.86	0.42
Dinamarca	-15.56	-10.71	-4.45	-15.16	-30.73	0.46
Estonia	-18.88	-8.83	-5.06	-13.89	-32.77	0.05
Finlandia	-18.06	-9.30	-3.15	-12.46	-30.51	0.38
Francia	-17.94	-10.41	-2.42	-12.83	-30.78	3.66
Alemania	-17.94	-9.94	-2.89	-12.83	-30.78	5.37
Grecia	-15.58	-11.28	-3.32	-14.60	-30.18	0.26
Hungría	-18.57	-6.55	-6.28	-12.83	-31.40	0.23
Irlanda	-12.41	-6.08	-7.97	-14.05	-26.47	0.58
Italia	-18.87	-10.40	-2.16	-12.55	-31.43	2.96
Japón	-19.39	-11.21	-1.60	-12.81	-32.20	6.65
Letonia	-17.10	-11.14	-3.88	-15.01	-32.11	0.05
Lituania	-16.15	-10.03	-6.00	-16.04	-32.18	0.07
Luxemburgo	-8.87	-2.76	-8.77	-11.54	-20.41	0.19
Países Bajos	-15.61	-8.90	-4.59	-13.49	-29.09	1.32
Noruega	-17.03	-9.43	-3.51	-12.93	-29.97	0.54
Polonia	-18.74	-10.03	-4.04	-14.07	-32.81	0.89
Portugal	-17.45	-10.52	-3.49	-14.01	-31.46	0.32
Eslovaquia	-20.07	-7.48	-5.54	-13.02	-33.09	0.18
Eslovenia	-19.98	-8.05	-5.18	-13.23	-33.22	0.08
España	-17.80	-10.79	-2.54	-13.33	-31.13	1.90
Suecia	-16.74	-10.31	-3.55	-13.86	-30.60	0.70
Suiza	-14.65	-10.22	-3.40	-13.62	-28.28	1.04
Turquía	-19.84	-11.61	-2.31	-13.92	-33.76	1.10
Inglaterra	-15.04	-10.88	-2.27	-13.15	-28.19	3.63
Estados Unidos	-14.43	-11.39	-0.94	-12.33	-26.76	26.74
Bulgaria	-18.71	-8.66	-4.69	-13.35	-32.06	0.10
China	-23.38	-9.63	-0.88	-10.51	-33.89	26.09
Croacia	-17.45	-10.26	-3.01	-13.27	-30.72	0.08
Chipre	-13.65	-10.23	-4.60	-14.83	-28.48	0.03
Malta	-9.98	-5.56	-6.24	-11.79	-21.77	0.03
Rumania	-17.46	-11.57	-3.35	-14.92	-32.38	0.34
Rusia	-17.84	-10.38	-2.50	-12.88	-30.72	2.22
Resto del mundo	-17.95	-10.31	-2.20	-12.50	-30.46	7.65
<b>Total</b>	<b>-19.90</b>	<b>-10.48</b>	<b>-1.72</b>	<b>-12.20</b>	<b>-32.10</b>	
<b>Participación</b>	<b>61.99</b>	<b>32.64</b>	<b>5.37</b>	<b>38.01</b>	<b>100.00</b>	

Figura 5: Evolución de la producción industrial en los datos simulados y empíricos. Países europeos incorporados en el estudio.



El modelo predice una contracción global de la producción industrial del 4.5% respecto al período previo en el que el shock se modela y de un 7.6% respecto al período inicial. Los datos empíricos muestran que en marzo de 2022 la caída en la producción industrial fue del 1.8% y 2.5% en los períodos respectivos. El conjunto de sectores más afectado, como se aprecia en la Figura 5 fueron los productores de bienes de capital, con una caída (empírica) del 7.6% respecto de diciembre de 2021 y del 2.3% respecto de febrero de 2022.

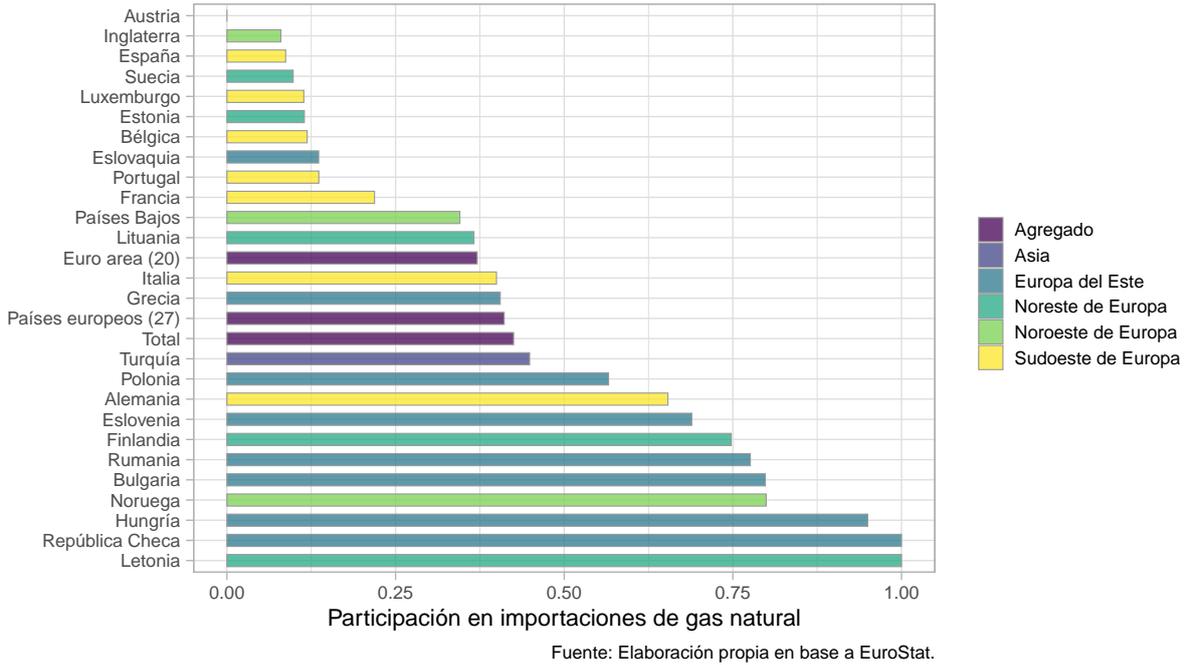
Antes de continuar cabe recordar que en este trabajo analizamos una situación de corto plazo donde no hay posibilidad inmediata de sustitución del bien que se ve restringido, pero sí es posible utilizar las reservas con las que se cuenta en inventarios<sup>14</sup>. Entonces el efecto directo tiene un impacto pleno en la producción de los diferentes sectores y países, y depende centralmente de la participación que tienen las importaciones de energía rusa en cada uno de ellos. En este sentido, para interpretar mejor los resultados es importante conocer la importancia del sector energético ruso en las importaciones de los diferentes países a nivel mundial.

Las importaciones de Rusia representan alrededor del 32.5% del total del gas natural que consumen los países europeos. Esta dependencia le da a Rusia, por un lado, una gran influencia en Europa y, por el otro, continúa siendo dependiente ya que los países europeos representan el 40% de sus exportaciones de gas. Una gran proporción del gas consumido se utiliza para la calefacción de los hogares, por lo que la demanda de gas es muy estacional, aunque una buena parte se utiliza en el proceso productivo industrial y para generar energía. Como se observa en la Figura 6, la República Checa, Letonia y Hungría dependen totalmente del gas ruso; mientras que Alemania, Italia, Polonia, Bulgaria y Finlandia dependen de más del 40% del gas importado de Rusia. En el corto plazo, donde la demanda no es muy elástica, se espera que estas economías se vean afectadas por la desaceleración de las industrias intensivas en energía en caso de un corte total del suministro de gas ruso. Por el contrario, Francia, España, Suecia y Austria dependen menos del gas ruso.

De manera análoga al shock analizado en la sección 4.1, definimos al efecto directo como aquella parte de la caída en la producción que se explica exclusivamente por la caída en la disponibilidad de un insumo clave en la producción, la energía. En este sentido, el shock implica limitar la capacidad de producción

<sup>14</sup>Es decir, lo que la literatura de desastres refiere como una situación de cortísimo plazo (Bouwmeester y Oosterhaven, 2017).

Figura 6: Participación de Rusia en las importaciones totales de gas natural. Año 2021.



por insumos intermedios (ver ecuación (3)), específicamente los que corresponden al sector energético. Formalmente, se puede expresar como

$$\Delta \mathbf{x}_{t,t-1}^{\text{dir}} = \text{diag}^{-1}(\mathbf{a}^i) \Delta \mathbf{z}_{i,t,t-1}, \text{ con } i \in \{23\text{-Electricidad y gas natural; } 03\text{-Minas-energéticos}\}, \quad (19)$$

donde  $\mathbf{a}^i$  representa el vector de insumos para el sector energético, que se obtiene de dividir la suma de lo que demanda cada sector-país de este sector en total por el vector de producción bruta inicial sectorial.

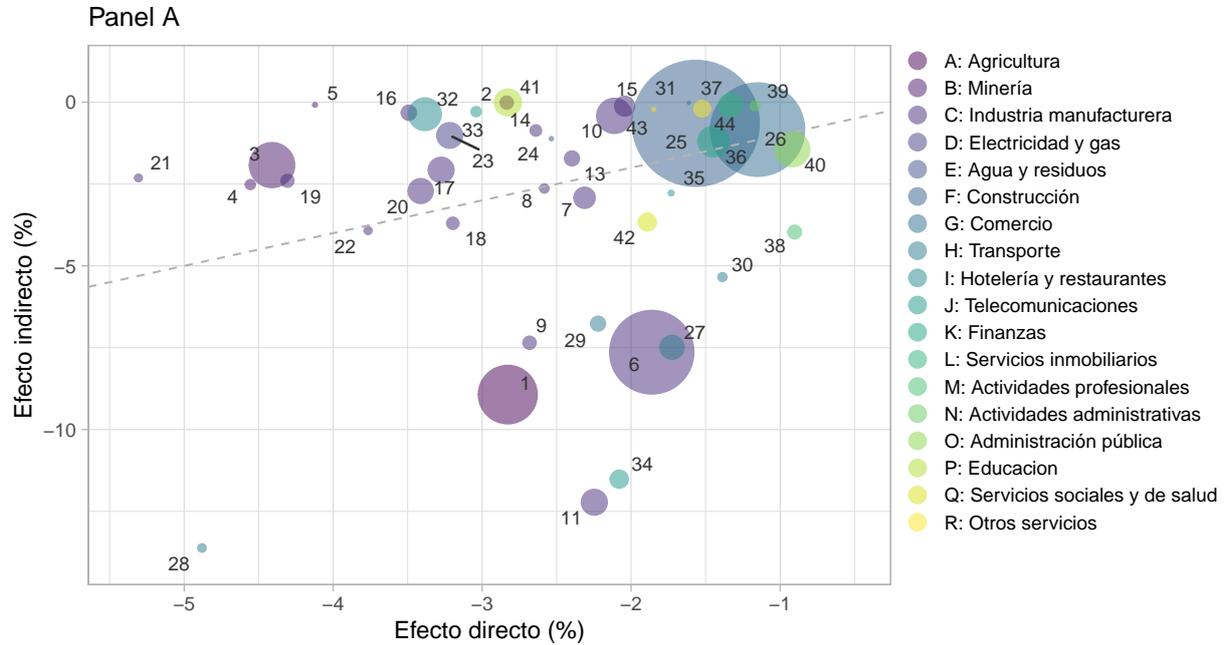
El efecto indirecto, es decir, aquel que se deriva por el hecho de que los diferentes sectores no pueden intercambiar plenamente entre ellos, también implica limitar la producción por insumos intermedios: cae la producción de los sectores impactados de manera directa y, por lo tanto, su demanda de insumos intermedios de otros sectores, lo que hace caer la producción de estos últimos; que incorporan el primer impacto en las expectativas de corto plazo (ver ecuación (6)).

En la Figura 7.A se puede observar el cambio en la producción de los diferentes sectores, desagregado entre el efecto directo y el indirecto. El primero se representa en el eje horizontal, el segundo en el eje vertical, y el tamaño de los puntos corresponde a la participación de cada sector en la producción bruta inicial de los diferentes países. A diferencia del análisis para el tipo de shock previo, el efecto directo difiere entre un mismo sector localizado en diferentes países, ya que depende tanto de la proporción de la demanda de energía rusa, como de los coeficientes técnicos que esta rama tiene en la producción de cada sector en las diferentes localizaciones geográficas. La definición del efecto indirecto es análoga a la sección 4.1; es decir, incorpora los vínculos de cada sector con el resto de los sectores-países.

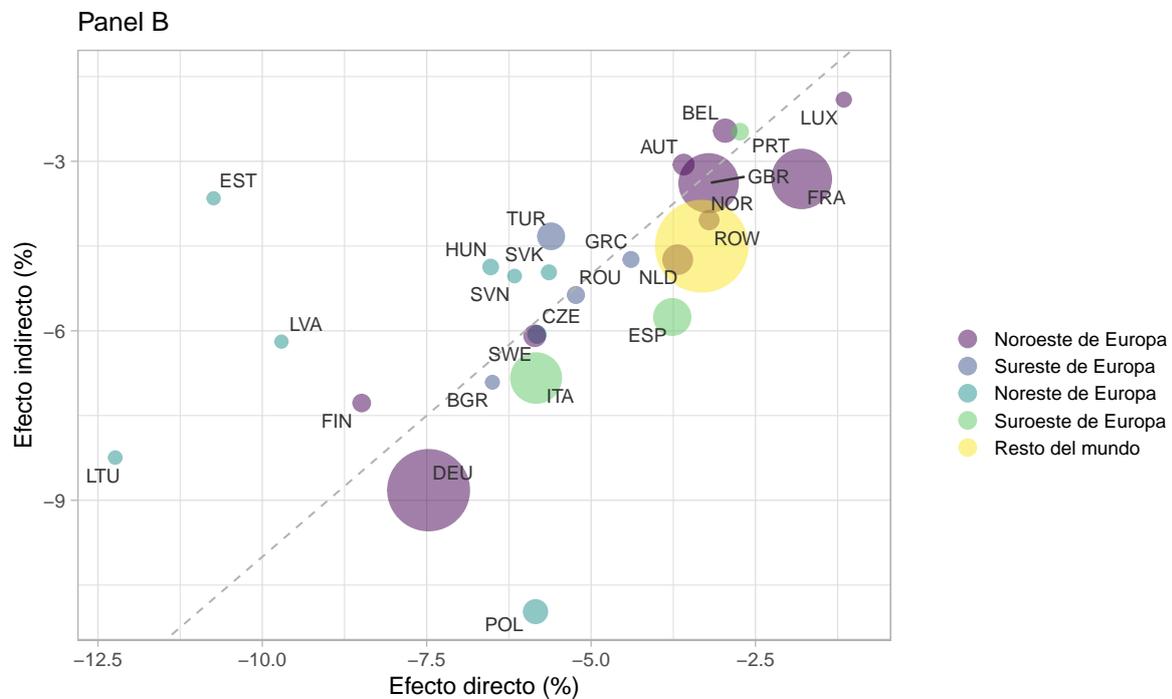
En líneas generales, se pueden identificar cuatro grupos de sectores. El primer de ellos se conforma por aquellas ramas ubicadas en el extremo superior derecho. Se trata de los sectores para los cuales el efecto directo no ha sido significativo, ya que la participación de la energía rusa no es de una magnitud considerable en la canasta de insumos que demandan para la producción. Este grupo está compuesto centralmente por sectores de servicios, y algunos de ellos son los que tienen la mayor participación en el producto global (como el caso de la construcción). Se destacan el comercio al por mayor y menor, el sector de administración pública, los servicios inmobiliarios, la construcción y el sector financiero. En todos estos casos el efecto directo es menor al 2%, mientras que el efecto indirecto no supera el 1%.

Luego, podemos identificar dos grupos: aquellos sectores para los que el efecto directo no es relevante pero sí lo es el indirecto, y viceversa. El primero, está compuesto por los sectores que se ubican verticalmente

Figura 7: Comparación efecto directo e indirecto del shock sobre la disponibilidad de energía, en términos de: Panel A) reducción de la producción sectorial global, Panel B) reducción de la producción nacional. En porcentajes.



Nota: 1-Agricultura, 2-Pesca, 3-Minas-energéticos, 4-Minas-no energéticos, 5-Minas-servicios, 6-Alimentos, 7-Textiles, 8-Madera, 9-Papel, 10-Petróleo, 11-Química, 12-Farmacéuticos, 13-Plástico, 14-Otros minerales, 15-Metales básicos, 16-Productos de metal, 17-Electrónica, 18-Eq. eléctrico, 19-Maquinaria n.c.p., 20-Vehículos, 21-Otro eq. Transporte, 22-Manufacturas n.c.p., 23-Electricidad, gas, 24-Agua y residuos, 25-Construcción, 26-Comercio, 27-Transporte terrestre, 28-Transporte marítimo, 29-Transporte aéreo, 30-Almacenamiento, 31-Correo, 32-Hotelería y rest., 33-Audiovisuales, 34-Telecomunicaciones, 35-IT, 36-Finanzas, 37-Ss. inmobiliarios y emp., 38-Act. Profesionales, 39-Act. Administrativas, 40-Admin. pública, 41-Enseñanza, 42-Ss. Soc. y de salud, 43-Ss. culturales, 44-Otros ss.



Nota: AUT-Austria, BEL-Bélgica, CZE-República Checa, EST-Estonia, FIN-Finlandia, FRA-Francia, DEU-Alemania, GRC-Grecia, HUN-Hungría, ITA-Italia, LVA-Letonia, LTU-Lituania, LUX-Luxemburgo, NLD-Países Bajos, NOR-Noruega, POL-Polonia, PRT-Portugal, SVK-Eslovaquia, SVN-Eslovenia, ESP-España, SWE-Suecia, TUR-Turquía, GBR-Inglaterra, BGR-Bulgaria, ROU-Rumania, ROW-Resto del mundo

Cuadro 4: Descomposición del impacto del shock asimétrico a la disponibilidad de energía, en efecto directo e indirecto. Países.

País	Efecto directo	Efecto indirecto	Efecto total	Pesos
República Checa	-5.82	-6.06	-11.89	1.23
Letonia	-9.71	-6.19	-15.90	0.86
Hungría	-6.53	-4.87	-11.40	1.04
Noruega	-3.20	-4.04	-7.24	1.35
Bulgaria	-6.50	-6.91	-13.41	0.91
Rumania	-5.23	-5.37	-10.60	1.15
Finlandia	-8.49	-7.28	-15.77	1.19
Eslovenia	-6.16	-5.03	-11.19	0.89
Alemania	-7.47	-8.82	-16.29	6.18
Polonia	-5.84	-10.97	-16.81	1.70
Turquía	-5.61	-4.33	-9.94	1.91
Grecia	-4.39	-4.74	-9.13	1.07
Italia	-5.84	-6.84	-12.67	3.77
Lituania	-12.24	-8.24	-20.48	0.88
Países Bajos	-3.68	-4.74	-8.42	2.13
Francia	-1.80	-3.31	-5.11	4.47
Portugal	-2.73	-2.48	-5.21	1.13
Eslovaquia	-5.64	-4.96	-10.61	0.99
Bélgica	-2.96	-2.46	-5.42	1.64
Estonia	-10.74	-3.65	-14.39	0.85
Luxemburgo	-1.16	-1.91	-3.06	1.00
Suecia	-5.86	-6.09	-11.94	1.51
España	-3.77	-5.76	-9.52	2.71
Inglaterra	-3.21	-3.39	-6.60	4.44
Austria	-3.59	-3.06	-6.65	1.44
Resto del mundo	-3.32	-4.50	-7.82	53.59
<b>Total</b>	<b>-3.41</b>	<b>-4.20</b>	<b>-7.60</b>	
<b>Participación</b>	<b>44.83</b>	<b>55.17</b>	<b>100.00</b>	

a la derecha del gráfico, de lo cuales se destacan la rama de almacenamiento (-5.4% de efecto indirecto, y -1.39% de efecto directo), la industria farmacéutica (-21% y -3.1%) y el sector de telecomunicaciones (-11.5% y -2%). Los sectores que conforman el segundo grupo se observan distribuidos horizontalmente sobre el eje de abscisas. Se destaca, como era de esperarse, el sector energético (-3.5% de efecto directo y -1% de efecto indirecto), la actividad minera, tanto la asociada al sector energético (-4.5% y -1.9%), como la no asociada al mismo (-4.6% y -2.5%), la fabricación de productos de metal (-3.5% y -0.32%), la industria de equipamiento para transporte (-5.3% y -2.3%) y la producción de maquinarias n.c.p. (-4.3% y -2.4%). Estos sectores recibieron el impacto directo de mayor tamaño entre todos los sectores bajo estudio, de una magnitud superior al 3%. Cabe destacar que en este grupo se encuentran en su mayoría, sectores pertenecientes a la industria manufacturera.

Finalmente, el último grupo se compone de aquellos sectores ubicados en torno a la recta de 45 grados, es decir, que los efectos directo e indirecto se encuentran relativamente balanceados. Aquí encontramos también gran parte de los sectores pertenecientes a la industria manufacturera, de los cuales se destaca a las manufacturas n.c.p (-3.77% efecto directo y -3.92% efecto indirecto), la producción de vehículos} (-3.41% y -3.1%), la industria electrónica (-3.28% y -2.7%) y la fabricación de equipamiento eléctrico (-3.2% y -3.7%).

La Figura 7.B muestra el cambio en la producción de los diferentes países. El efecto directo se representa en el eje horizontal, el indirecto en el eje vertical y el tamaño de los círculos corresponde a la participación del producto del país en el total de las economías de la muestra. Para facilitar la comprensión y lectura del gráfico, se muestran los resultados para los diferentes países europeos alcanzados por el efecto directo, mientras que el resto de los países (que se ven afectados por el efecto indirecto solamente, o donde el mismo es cercano a cero) se agrupan en “resto del mundo”.

Como se puede observar en la Figura 7.B, los países representados se ubican en torno a la recta de

45°, lo que indica que el efecto directo e indirecto al interior de los mismos se encuentra relativamente “balanceado”. No obstante, cabe destacar algunos casos donde los efectos son mayores. En primer lugar, podemos mencionar a Lituania, Letonia, Estonia y Finlandia, que son los tres países que reciben el mayor impacto directo, superando el 8% en todos los casos. En el caso de Estonia, la suspensión en el suministro de energía y gas por parte de Rusia tiene un importante efecto directo, que explica una caída en la producción del 10.7%, pero donde las economías afectadas no tienen grandes encadenamientos locales, ya que el efecto indirecto explica solo un 3.6% en la caída de la producción nacional.

Por último, se destacan los casos de Alemania y Polonia. Ambas economías tienen una dependencia del gas ruso considerable, como se puede observar en la Figura 6. No obstante, en lo que hace a la demanda de los distintos sectores productivos, el mayor impacto negativo sobre la producción se explica por el hecho de que los sectores demandantes (es decir, alcanzados por el efecto directo) tienen importantes encadenamientos en las economías nacionales. De esta manera, como se muestra en la Tabla 4, en Polonia de una caída total en la producción del 16.8%, un 5.8% corresponde al efecto directo, mientras que el restante 11% corresponde al efecto indirecto. En el caso de Alemania, estos valores son del 7.3% y 8.8%, respectivamente, lo que totaliza una caída en la producción de este país del 16.2% como consecuencia de un shock que impide el suministro de energía y gas desde Rusia hacia el resto del mundo.

Finalmente, en términos globales, el modelo predice una caída en la producción de 7.6%. Una variación del -3.4% –es decir, un 44.8% del cambio total– en el producto global se explica por el efecto directo, mientras que un -4.2% –es decir, el 55.2% del cambio total– se explica por el efecto indirecto (ver Tabla 4).

### 4.3 Análisis de la propagación de un shock: el efecto cascada

Realizamos un último ejercicio para evaluar la posición de los distintos sectores-países en términos de su capacidad de transmisión de shocks, factor determinante de la magnitud del efecto económico indirecto. Dicha posición la evaluamos a partir del “efecto cascada” que un evento desencadenante (shock inicial) genera cuando impacta individualmente a cada uno de ellos. En primer lugar, planteamos un shock de oferta (sobre la mano de obra disponible) que afecta en términos relativos a cada unidad de la misma manera y aplicamos un shock sobre un sector-país a la vez. En el enfoque adoptado, una vez que un sector-país ha sido alcanzado por un shock no puede serlo nuevamente.

Luego, siguiendo a [Alatríste Contreras y Fagiolo \(2014\)](#), definimos al tamaño del efecto cascada del sector  $i$  en el país  $r$  ( $ec_i^r$ ) como el número de sectores que son alcanzados indirectamente por un shock (es decir, cuya variación en la producción es menor que cero) inicialmente iniciado en el sector  $i$  localizado en el país  $r$ . Tal como señalan los autores mencionados, esta definición del efecto cascada tiene la ventaja de no depender del tamaño del shock inicial. De esta manera, es posible obtener la distribución del tamaño del efecto cascada, compuesta por el efecto desencadenado por un shock en cada país-sector de manera individual,  $\{ec_i^r; i = 1, \dots, k; r = 1, \dots, n\}$ .

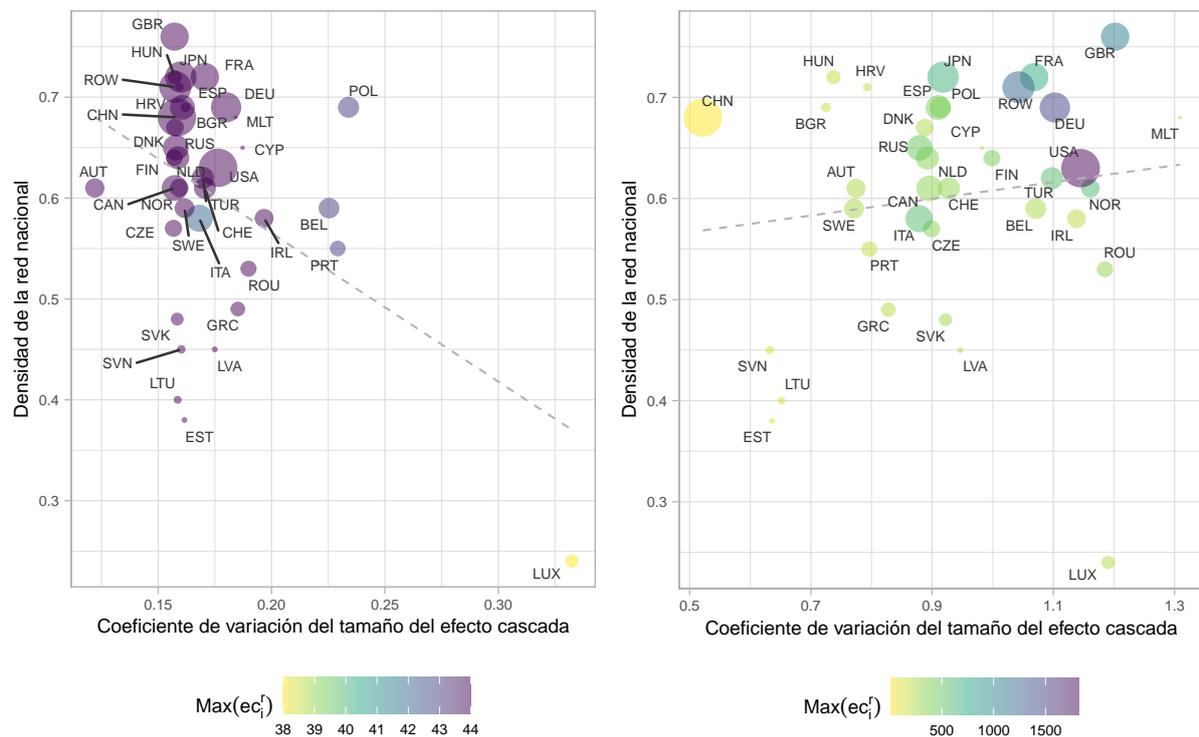
La matriz de relaciones intersectoriales entre sectores y países  $\mathbf{Z}$ , representa una red donde cada sector-país (cada fila/columna) es un nodo y los vínculos están representados por relaciones de oferta/demanda de insumos entre ellos. Es decir, las unidades interconectadas son sectores localizados geográficamente en diferentes países. Se trata de una red dirigida y ponderada, ya que es posible determinar la dirección del vínculo (un sector compra o vende bienes) y su tamaño es equivalente al valor de la transacción. Definimos la “relación intersectorial global” considerando las ventas de cada sector-país, por lo que cada elemento  $ad_{ij}^{r,s}$  la matriz de adyacencias  $\mathbf{Ad}$  será igual a 1 si el sector  $i$  en el país  $r$  le vende bienes y/o servicios al sector  $j$  en el país  $s$ , y será igual a 0 en caso contrario.

Como mencionamos previamente, la matriz  $\mathbf{Z}$  proviene de la información empírica publicada por la OECD, por lo que la red de relaciones intersectoriales a nivel global se construye a partir de datos empíricos. Al igual que en las simulaciones del modelo, se consideran 44 sectores y 37 países (36 más el “resto del mundo”), por lo que el número de nodos asciende a 1628. En el caso del número de vínculos –es decir, el número de relaciones totales que existen entre pares de sectores-países– supera los 2 millones. No es el objetivo de este estudio analizar las propiedades topológicas de esta red, sino que ponemos el foco las propiedades de propagación de un shock que tienen los distintos sectores-países para entender mejor los resultados encontrados previamente. Por lo tanto, nos limitamos a analizar algunas de las propiedades estructurales que sirven para tal fin<sup>15</sup>.

<sup>15</sup>Los lectores interesados en un análisis de las propiedades topológicas de la red global de producción, pueden ver por

La Figura 8 muestra para cada país el coeficiente de variación de la distribución del tamaño del efecto cascada desencadenado por cada sector, frente a la densidad de la red nacional del país correspondiente. Es decir, la densidad de la red calculada para cada país, considerando solo las transacciones entre sectores a nivel local<sup>16</sup>. El color de los puntos hace referencia al máximo tamaño del efecto cascada desencadenado por uno o un conjunto de sectores nacionales y el tamaño corresponde a la participación de cada país en el producto global. Esta representación nos permite visualizar el alcance de los efectos cascada desencadenados a partir de un shock de oferta individual y su vínculo con el tamaño de la economía donde se origina. El panel izquierdo muestra los resultados para el caso de las economías nacionales, consideradas de manera aislada, mientras que el panel derecho considera también las interconexiones a nivel global.

Figura 8: Densidad de la red insumo-producto nacional y coeficiente de variación del tamaño del efecto cascada. Por países, considerando solo interacciones nacionales (izq.) e interacciones nacionales y globales (der.).



Nota: AUT–Austria, BEL–Bélgica, CAN–Canadá, CZE–República Checa, DNK–Dinamarca, EST–Estonia, FIN–Finlandia, FRA–Francia, DEU–Alemania, GRC–Grecia, HUN–Hungria, IRL–Irlanda, ITA–Italia, JPN–Japón, LVA–Letonia, LTU–Lituania, LUX–Luxemburgo, NLD–Países Bajos, NOR–Noruega, POL–Polonia, PRT–Portugal, SVK–Eslovaquia, SVN–Eslovenia, ESP–España, SWE–Suecia, CHE–Suiza, TUR–Turquía, GBR–Inglaterra, USA–Estados Unidos, BGR–Bulgaria, CHN–China, HRV–Croacia, CYP–Chipre, MLT–Malta, ROU–Rumania, RUS–Rusia, ROW–Resto del mundo

En ambos casos se observa cierta heterogeneidad en el proceso de difusión del shock al interior de los países. En el caso de considerar solo los efectos locales/nacionales del shock (panel izq.), los coeficientes de variación observados son generalmente pequeños (en su mayoría menores a 0.17), lo que indica que las distribuciones del tamaño del efecto cascada se concentran en torno al valor máximo del efecto. Para el caso global (panel der.) la heterogeneidad es aún mayor, pero en este caso los coeficientes de variación están más dispersos en un rango mayor, entre 0.5 y 1.3. Por lo tanto, al considerar los vínculos que cada sector tiene no sólo en la economía local, sino también a nivel internacional, el tamaño del efecto cascada que puede provocar a partir del impacto de un shock cambia significativamente. El tamaño de la cascada ya no se encuentra concentrado en torno al máximo valor posible alcanzado. Estos resultados muestran claramente la existencia de desajustes entre sectores: hay un conjunto de ellos que es central para la transmisión internacional de shocks y otro conjunto que es central para su propagación interna o nacional.

ejemplo Fagiolo *et al.* (2009).

<sup>16</sup>Como mencionamos en la sección 2.2, las matrices insumo-producto nacionales están representadas en la diagonal principal de la matriz  $\mathbf{Z}$

Cabe recordar que en el modelo, los sectores productivos ajustan su producción en función de los insumos disponibles. Es decir, no solo se ajusta la cantidad de insumos que adquiere de un sector impactado por un shock de oferta, sino que también ajusta su propia producción a la nueva cantidad de insumos disponibles (post consumo de inventarios). Este comportamiento funciona como un mecanismo amplificador del tamaño del efecto cascada, incrementando la posición de vulnerabilidad de los sectores y países. Este mecanismo es, por lo tanto, la principal explicación al hecho de que observemos tamaños del efecto cascada concentrados en torno a su valor máximo, principalmente al considerar solo la economía nacional. Ahora bien, al abrir la economía, se están considerando muchas más posibilidades para el abastecimiento de insumos de un sector-país determinado; específicamente pasamos de considerar solo 44 sectores a un total de 1628. Por lo tanto, si bien una mayor interconexión incrementa la probabilidad de ser impactado indirectamente por un shock, dado que en este ejercicio estamos considerando el impacto en un sector a la vez, también reduce la exposición a un solo sector en particular, dando como resultado tamaños de efecto cascada mucho más heterogéneos y dispersos entre sectores y países.

En todos los países, cuando un sector nacional es alcanzado por un shock de manera directa, se observa al menos una cascada que alcanza a toda la economía local. Esto se puede observar en el rango de la escala de colores del panel izquierdo de la Figura 8. La gran mayoría de los países tuvieron efectos cascada donde el tamaño máximo alcanzó a los 44 sectores considerados de la economía. Dos excepciones notables son los casos de Luxemburgo e Italia, donde el tamaño máximo de la cascada es de 38 y 41, respectivamente. En términos de los sectores que desencadenan estos efectos cascadas, en 21 de los 36 países se identifican más de 18 sectores con capacidad para transmitir un shock que les impacta de manera directa, a toda la economía local.

Respecto al vínculo entre el tamaño del efecto cascada y las características estructurales y macroeconómicas de las economías, no es posible identificar un patrón claro que los relacione, especialmente para el caso donde se consideran los vínculos internacionales de los sectores económicos. Como se puede observar en la Figura 8 la densidad de la red, el tamaño relativo de las economías en el mundo y las propiedades estadísticas de las distribuciones del tamaño del efecto cascada, no siguen un patrón claramente identificable. En el caso de la densidad de la red, pareciera tener mayor incidencia respecto del tamaño máximo del efecto cascada cuando se consideran solo las economías nacionales como entes aislados unos de otros. Mientras que el tamaño relativo de las economías en el mundo, pareciera guardar cierta relación (aunque débil) con el tamaño máximo del efecto cascada (ver relación entre los colores del panel derecho de la Figura 8 y el tamaño de los puntos).

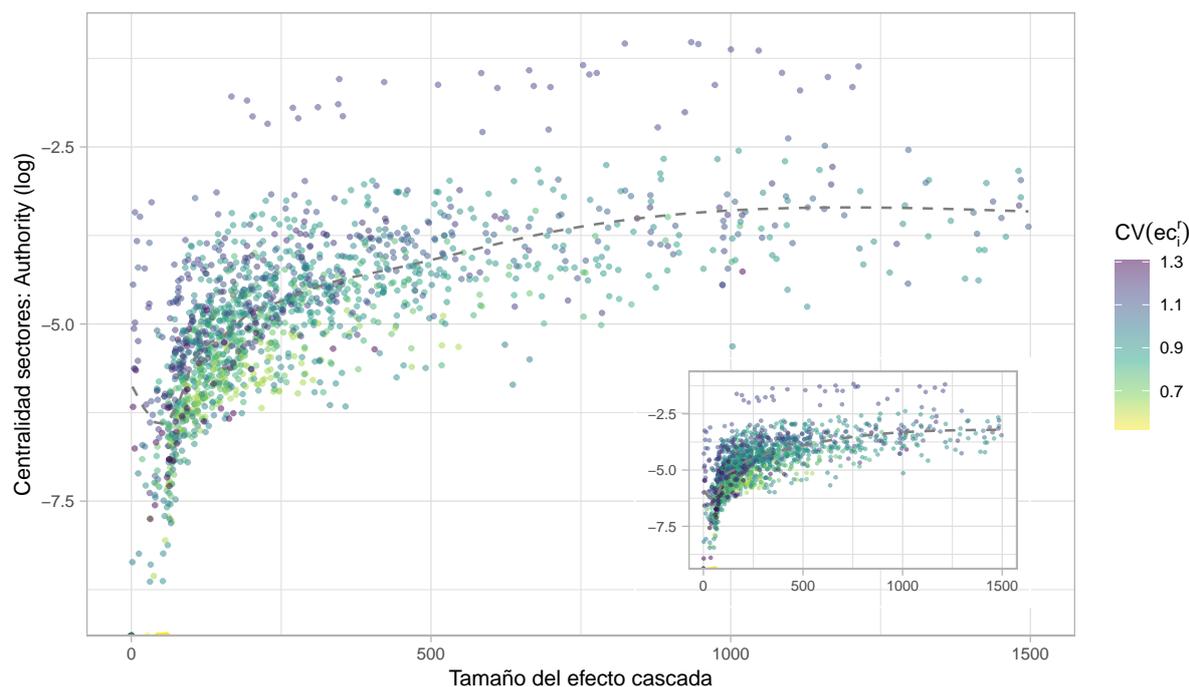
En el plano sectorial, es posible analizar cuáles son los sectores que lideran los mayores efectos cascada tanto a nivel local como global. A nivel nacional, los sectores que más comúnmente dan lugar a los mayores tamaños de efecto cascada al interior del país son la industria química (32 países), el comercio mayorista y minorista (31 países), el sector financiero (31 países), petróleo y sus derivados (29 países), farmacéuticos (28 países), construcción (26 países), la industria alimenticia (24 países) y el sector agrícola (23 países). Como puede apreciarse, en el caso nacional, los sectores capaces de producir los mayores efecto cascada son relativamente variados, aunque existe cierta repetición de los mismos.

Si pasamos al plano internacional, dado que el tamaño del efecto cascada es mucho más heterogéneo entre sectores, es posible identificar a un único sector como el desencadenante de la mayor cascada en un país (o por lo menos un grupo mucho más reducido de sectores). En primer lugar, se ubica el sector de la construcción, que es capaz de desencadenar el mayor efecto cascada, considerando sectores nacionales e internacionales, en un total de 13 países. Luego, identificamos al sector de comercio mayorista y minorista (9 países), el sector financiero (9 países), el sector productor de alimentos (5 países) y la industria automotriz (4 países). Este último es el único que no había sido destacado entre los sectores que contagian a un mayor número de industrias nacionales el efecto de un shock que los impacta de manera directa.

Finalmente, realizamos un análisis de la distribución del tamaño del efecto cascada por sector-país de manera individual y a nivel internacional, la cual se puede observar a lo largo del eje de las abscisas de la Figura 9. En líneas generales, se observa que los sectores que revisten una mayor centralidad global en la red insumo-producto internacional –medida por el algoritmo HITS, es decir, la centralidad de autoridades (authority) y concentradores (hub)<sup>17</sup>, ver Kleinberg (1999)– son los que desencadenan los mayores tamaños de efecto cascada a nivel global. Es decir, encontramos una correlación positiva entre la centralidad global de los sectores-países en la red insumo-producto internacional y el tamaño del efecto cascada que cada uno es capaz de desencadenar. Esto se encuentra en línea con lo que Alatríste Contreras

<sup>17</sup>Esta misma relación se evidencia en otras medidas de centralidad global, como el PageRank Ponderado.

Figura 9: Tamaño del efecto cascada por país-sector y centralidad en la red internacional medida por el algoritmo HITS.



Nota: En el inset se observa la relación entre el valor del Hub (log) y el tamaño del efecto cascada.

y Fagiolo (2014) encontraron para las redes insumo producto a nivel nacional, dado que tampoco se observa tal correlación fuertemente positiva con la centralidad local (particularmente la fuerza de entrada y de salida). Tal como mencionan los autores, este resultado implica que el alcance del efecto cascada desencadenado por un shock individual depende centralmente de la integración general que tiene un sector-país en la red insumo-producto, que depende también de la centralidad que tienen todos los demás sectores vinculados a él.

## 5 Comentarios finales

En este trabajo analizamos el impacto económico y el alcance de un shock sectorial asimétrico. Específicamente, modelamos dos tipos de shock que afectan el normal funcionamiento de la cadena de suministro tanto a nivel local como global, en el marco de un modelo dinámico de las relaciones insumo-producto entre países y sectores. Calibramos el modelo usando datos de las matrices insumo-producto del mundo real, lo que nos permitió evitar hacer suposiciones arbitrarias acerca de las relaciones entre sectores. Asimismo, esta información incorpora tanto las transacciones sectoriales a nivel nacional, así como también los intercambios entre sectores de un país con otras industrias localizadas geográficamente en el resto del mundo. Esto nos permitió incorporar la dimensión internacional al análisis de la propagación de un shock sectorial asimétrico.

Analizamos el papel jugado por un evento idiosincrático con diferentes orígenes y su impacto global en la economía; por lo que una característica importante del modelo es que destaca el carácter relacional del sistema económico. Asimismo, el marco estudiado permite descomponer el impacto económico del shock en su efecto directo –es decir, la variación en la producción como consecuencia del impacto directo del shock–, e indirecto –el cambio en el producto causado por el hecho de que los sectores económicos se vinculan entre sí–. Finalmente, la configuración del modelo permite evaluar la importancia relativa de los distintos sectores-países en la propagación de un shock, tanto a escala nacional como global.

En los experimentos de simulación, estudiamos dos configuraciones de shock bien diferentes. En el primer caso, se modela un shock negativo sobre la oferta de trabajo sectorial que afecta de manera asimétrica a un conjunto de sectores localizados en distintas partes del mundo, para lo que tomamos como ejemplo motivador el caso de la pandemia de COVID-19. Por lo tanto, se trata de muchos sectores en muchos

países que son impactados simultáneamente de manera directa por el shock de oferta. En el segundo caso, modelamos una interrupción completa en el suministro de un sector específico localizado en un país en particular (sector energético en Rusia), motivado en el conflicto entre Rusia y Ucrania. Es decir, que solo afectamos los vínculos de un sector-país para con el resto del mundo.

Para un shock que afecta de manera heterogénea a la oferta laboral sectorial, el modelo predice una caída de la producción global del 32.1%. De este cambio, el 62% es explicado por la caída en la producción de los sectores que fueron impactados de manera directa, mientras que el restante 38% corresponde al efecto indirecto. Este último, puede descomponerse en local (o nacional, 5.4%) y global (o internacional, 32.6%). En el caso del shock que afecta el suministro de energía de manera diferencial para distintos países europeos, la predicción en la caída de la producción es del 7.6%. Las participaciones de los efectos directo e indirecto son sustancialmente diferentes: el efecto directo explica el 44.8% de la caída, mientras que el indirecto explica el 55.2%.

Si bien el efecto global sobre la producción fue sensiblemente menor cuando los comparamos en términos absolutos, debe tenerse en cuenta que en términos relativos (por el número de sectores/vínculos afectados de manera directa) el impacto sobre la producción global en el segundo tipo de evento modelado fue considerable. Esto se explica por la importancia sistémica que reviste el sector energético ruso en la producción global. Esto se observa en las magnitudes correspondientes a los efectos directo e indirecto del shock y se confirma en los resultados encontrados en la última sección del artículo, donde el sector energético surge como aquel capaz de desencadenar los efectos cascada de mayor tamaño en un número considerable de países.

Los resultados del análisis de la propagación de shocks individuales (sección 4.3), muestran que en un contexto donde los sectores productivos ajustan su producción como consecuencia del ajuste en la oferta disponible de insumos de los sectores a los que demanda, las economías nacionales están sujetas a efectos cascada de gran tamaño aunque heterogéneos entre sectores y países. Esta heterogeneidad se incrementa significativamente cuando se considera a los sectores económicos como parte de un sistema global interconectado.

Respecto al vínculo con las características económicas y estructurales de los países, encontramos que cuanto mayor sea el tamaño del país en la economía mundial, y cuanto más central sea el sector en la red insumo-producto internacional, mayor es la probabilidad de que genere un efecto cascada de gran tamaño al ser impactado por un shock de manera directa. Estos resultados implican que los países de mayor peso en términos de producto en la economía mundial, son aquellos capaces de desencadenar las mayores cascadas a nivel global cuando son impactados directamente y, al mismo tiempo, son más vulnerables a grandes shocks económicos.

Finalmente, los resultados encontrados destacan la necesidad de considerar en el análisis de la importancia sistémica de los distintos sectores, no solo sus características económicas –como su tamaño en términos de valor agregado, producción o empleo generado–, sino también a las interrelaciones entre ellos y la posición que ocupa cada uno en las redes productivas. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que las economías nacionales forman parte de un mundo cada vez más interconectado, por lo que también su posición e integración en el complejo entramado de relaciones insumo-producto a nivel global es una dimensión relevante.

Tanto el modelo como el análisis realizado pueden ser mejorados y extendidos. En lo que respecta al modelo, hay dos supuestos que podrían ser relajados: la existencia de coeficientes tecnológicos fijos y la imposibilidad de sustitución, incluso entre insumos de un mismo sector en diferentes regiones del mundo. Respecto al análisis, destacamos la importancia de considerar una definición de efecto cascada que incorpore la magnitud o intensidad del mismo en términos de producción; es decir, no solo el número de sectores que son alcanzados por dicho efecto, sino también traducirlo al monto en pérdidas sectoriales, de manera similar a la que se estima el efecto indirecto. En este caso, deberían analizarse distintos tamaños de shock inicial o efecto directo, ya que el tamaño del efecto cascada ya no será independiente del mismo.

## 6 Anexo: análisis de sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad del modelo, obtuvimos los resultados considerando las dos variaciones estudiadas, es decir los dos tipos de shock, modificando el valor de a un parámetro a la vez, en una ventana o rango de valores determinado. Como variable a analizar seleccionamos la variación del producto total global mensualizada, entre el período de inicio y lo que se corresponde al mes 4. El objetivo de esta selección, es hacerlo comparable con los resultados que se presentan en las Figuras 2 y 5.

A continuación se detallan los valores asignados a los parámetros para análisis de sensibilidad. En todos los intervalos se consideró un total de 11 elementos y se mantuvo al valor del parámetro seleccionado en el procedimiento de calibración como la mediana de cada intervalo. Los límites superior e inferior se definieron como los valores cercanos al +/-25% del valor original del parámetro.

- Para el caso del shock tipo 1 (sección 4.1):
  1.  $\delta$  en el intervalo [0.0504; 0.0756] en saltos de a 0.0025
  2.  $\gamma$  en el intervalo [36; 56] en saltos de a 2
  3.  $\beta_{agro}$  en el intervalo [13; 23] en saltos discretos de a 1
  4.  $\beta_{min}$  en el intervalo [11; 21] en saltos discretos de a 1
  5.  $\beta_{ind}$  en el intervalo [8; 18] en saltos discretos de a 1
  6.  $\beta_{ener}$  en el intervalo [20; 30] en saltos discretos de a 1
  7.  $\beta_{cons}$  en el intervalo [20; 30] en saltos discretos de a 1
  8.  $\beta_{serv}$  en el intervalo [6; 16] en saltos discretos de a 1.
- Para el caso del shock tipo 2 (sección 4.2):
  1.  $\delta$  en el intervalo [0.0728; 0.00364] en saltos de a 0.00364
  2.  $\gamma$  en el intervalo [21; 41] en saltos de a 2
  3.  $\beta_{agro}$  en el intervalo [16; 26] en saltos discretos de a 1
  4.  $\beta_{min}$  en el intervalo [13; 23] en saltos discretos de a 1
  5.  $\beta_{ind}$  en el intervalo [12; 22] en saltos discretos de a 1
  6.  $\beta_{ener}$  en el intervalo [21; 31] en saltos discretos de a 1
  7.  $\beta_{cons}$  en el intervalo [23; 33] en saltos discretos de a 1
  8.  $\beta_{serv}$  en el intervalo [14; 24] en saltos discretos de a 1.

Las Figuras 10 y 11 describen de manera general cómo se modifica la variación del producto en los datos simulados, cuando cambian los valores de los parámetros de a uno por vez, para los casos respectivos de los eventos disruptivos modelados en las secciones 4.1 y 4.2. Como era de esperarse, la influencia de cada parámetro en el output de las simulaciones respecto de la variación del producto global, es similar para ambos casos. En líneas generales, se observa que la caída en el producto es más sensible al valor de  $\delta$  que al de cualquier otro parámetro, seguido de  $\gamma$  y los parámetros específicos de la industria manufacturera y el sector de servicios ( $\beta_{ind}$  y  $\beta_{serv}$ ). El resto de los parámetros tienen un impacto pequeño o nulo sobre el resultado final en la producción global.

En otras palabras, la caída en el producto global que predice el modelo depende centralmente de la mayor o menor estabilidad que tienen las expectativas de largo plazo (ecuación (8)). También resulta relevante la sensibilidad o reacción que la demanda de inversión tiene en relación a la dinámica del producto. Esta importancia de  $\gamma$  tiene sentido cuando se considera el papel de las expectativas de largo plazo en el impulso de la producción objetivo de los sectores –también en el largo plazo– para la determinación de los inventarios de insumos intermedios. Menores valores de  $\gamma$  implican que las expectativas de largo plazo están más ligadas a las variaciones de corto plazo de la demanda, incrementando su prociclicidad.

Finalmente, respecto a planificación y el ajuste de los diferentes sectores que da lugar al stock que desean mantener de insumos en cada período (inventarios), los dos sectores con capacidad para modificar la variación del producto son el sector de servicios (explicado en mayor medida por el sector de comercio minorista y mayorista) y la industria manufacturera. Estos dos ramas mencionadas, representan la mayor parte de la producción en las economías que se modelan en este artículo, como puede apreciarse en la Figura 12.

Figura 10: Caída en el producto mensualizada, período 4 respecto del período 1, de acuerdo al valor de los parámetros. Shock tipo 1.

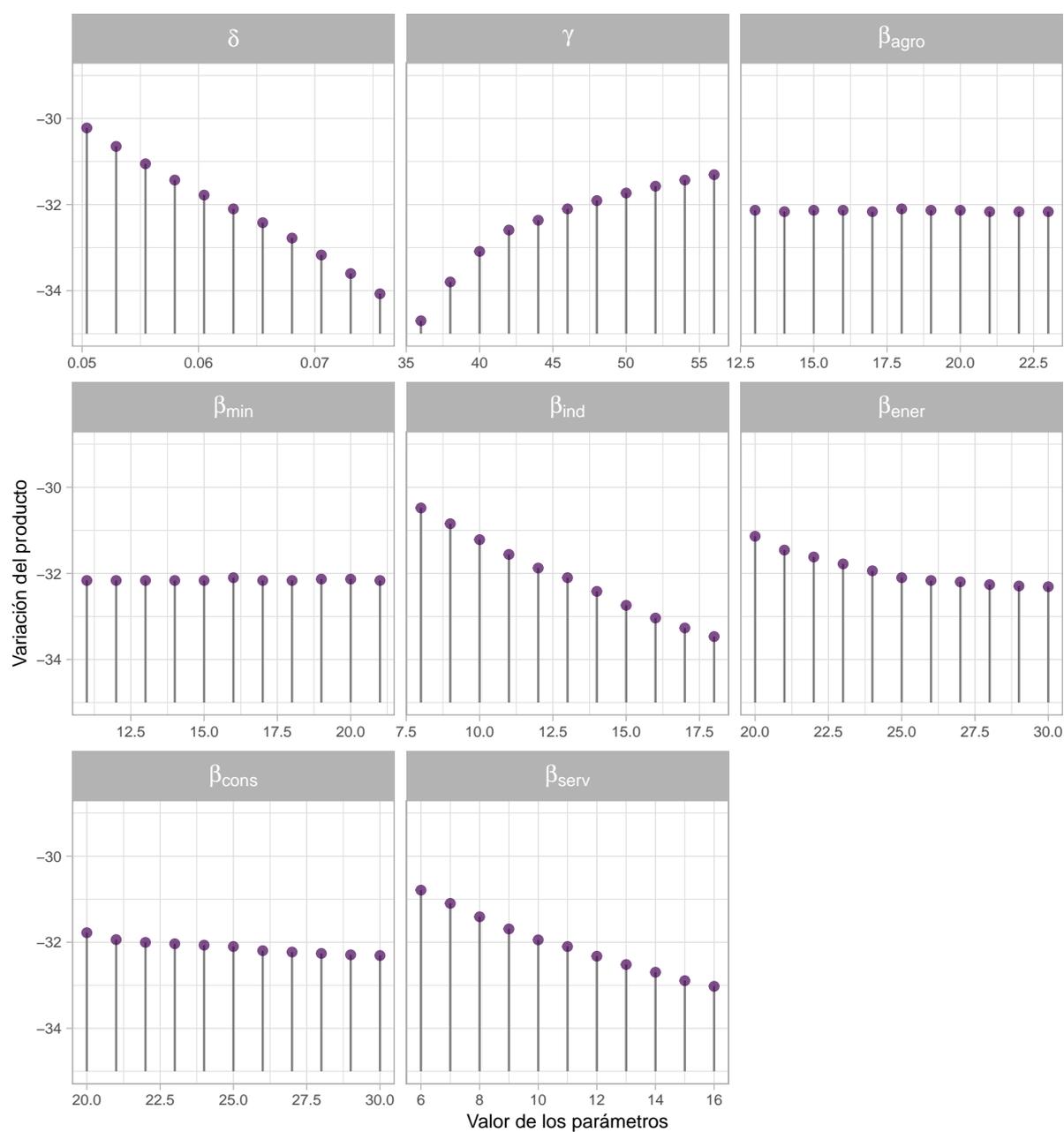


Figura 11: Caída en el producto mensualizada, período 4 respecto del período 1, de acuerdo al valor de los parámetros. Shock tipo 2.

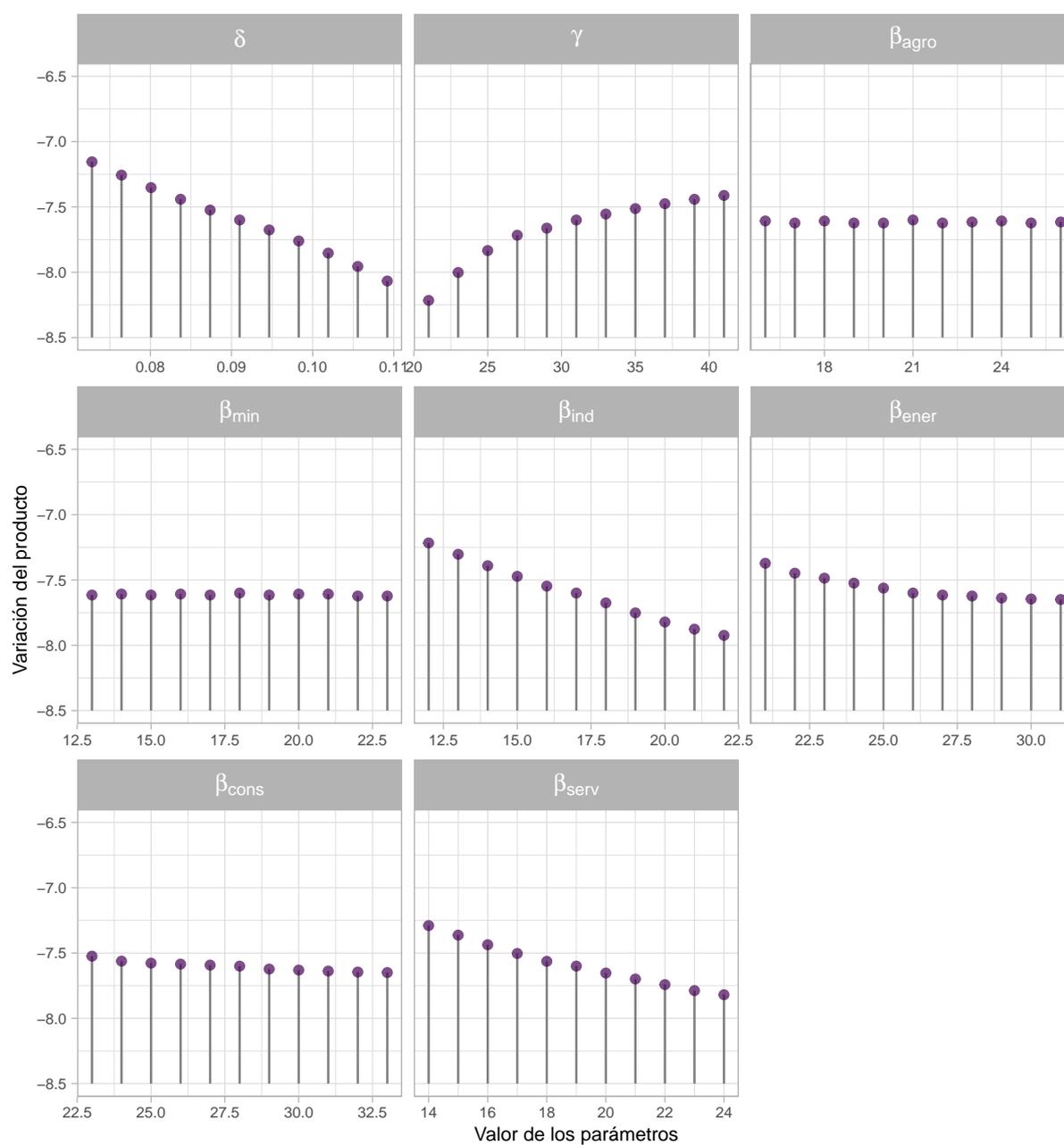


Figura 12: Participación sectorial en la producción nacional. En porcentajes.

	AUT	BEL	BGR	CAN	CHE	CHN	CYP	CZE	DEU	DNK	EST	FIN	FRA	GBR	GRC	HRV	HUN	IRL	ITA	JPN	LTU	LUX	LVA	MLT	NLD	NOR	POL	ROU	ROW	RUS	SVK	SVN	SWE	TUR	USA		
01-Agricultura	1	1	4	2	1	5	2	2	1	2	3	4	2	2	1	4	3	4	1	2	1	4	0	5	0	2	1	3	5	10	3	2	2	2	6	1	
02-Pesca	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0		
03-Minas-energéticos	0	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	1	1	10	7	0	0	0	0	1	
04-Minas-no energéticos	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	1	0	
05-Minas-servicios	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
06-Alimentos	3	5	5	3	3	5	4	3	3	4	6	3	3	4	3	5	5	4	4	4	3	6	0	4	1	5	4	6	6	6	4	2	2	2	5	3	
07-Textiles	0	0	2	0	0	4	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	3	0	1	0	1	0	0	0	1	2	3	0	1	1	0	5	0		
08-Madera	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	5	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
09-Papel	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
10-Petróleo	1	3	3	2	1	2	0	1	1	1	2	1	2	1	1	6	3	2	2	1	2	6	0	0	0	2	1	2	2	3	6	2	0	1	1	2	
11-Química	2	4	1	1	1	4	0	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	6	2	2	3	0	1	0	3	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	
12-Farmacéuticos	1	3	1	0	7	1	1	0	1	3	1	0	1	1	1	1	1	12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	1		
13-Plástico	1	1	2	1	1	2	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	3	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1		
14-Otros minerales	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0		
15-Metales básicos	3	2	5	2	0	5	0	2	2	0	2	1	2	1	0	2	0	1	0	2	4	0	2	0	0	1	2	2	2	2	4	2	3	2	3	1	
16-Productos de metal	2	1	2	1	1	2	1	3	2	1	2	3	2	1	1	2	2	0	3	1	1	0	1	0	1	1	3	1	1	3	4	2	2	1	0	1	
17-Electrónica	1	0	1	0	4	5	0	3	2	1	0	3	2	1	1	0	1	4	4	1	2	1	0	1	2	0	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	
18-Eq. eléctrico	2	0	2	0	2	3	0	3	2	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	2	1	0	1	0	1	0	2	2	1	1	2	4	1	1	0	
19-Maquinaria n.c.p.	4	1	2	1	2	4	0	3	4	4	1	1	4	1	1	0	1	2	1	4	4	1	1	0	2	1	1	1	1	1	3	2	3	1	1		
20-Vehículos	3	1	1	3	0	4	0	11	7	0	3	1	0	2	2	0	0	10	0	2	5	1	0	0	0	1	0	4	5	1	14	4	4	2	2		
21-Otro eq. transporte	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	
22-Manufacturas n.c.p.	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	3	1	2	1	0	1	1	4	2	2	4	0	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	
23-Electricidad, gas	5	1	3	1	3	3	2	3	2	1	3	3	2	3	3	3	4	2	1	3	3	3	1	4	2	1	2	3	4	2	5	5	2	2	4	1	
24-Agua y residuos	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
25-Construcción	8	8	7	9	6	10	8	7	5	8	7	9	9	7	9	2	7	6	4	6	6	7	4	11	4	7	10	9	8	8	7	7	8	8	10	5	
26-Comercio	10	10	11	9	13	6	8	9	9	12	11	10	8	11	10	12	11	9	7	11	11	13	6	12	5	11	8	13	12	9	12	9	10	9	10	10	
27-Transporte terrestre	3	2	5	3	2	3	1	3	2	2	3	3	2	2	2	3	1	3	2	9	1	5	1	2	2	5	6	3	4	3	4	3	7	2	2		
28-Transporte marítimo	0	0	0	0	2	0	4	0	1	6	0	1	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
29-Transporte aéreo	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
30-Almacenamiento	2	3	2	1	1	1	6	2	2	1	2	5	2	2	1	2	1	2	0	2	1	3	0	6	3	2	1	2	1	1	2	2	3	3	1	1	
31-Correo	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32-Hotelaría y rest.	4	2	2	3	2	2	6	2	2	2	6	2	2	3	3	7	6	2	1	4	3	2	1	2	4	2	2	1	2	2	1	1	2	2	3	3	
33-Audiovisuales	1	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	2	
34-Telecomunicaciones	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	
35-IT	2	2	3	2	2	1	4	2	2	2	2	3	3	2	3	1	2	2	12	2	2	2	9	2	4	3	2	2	3	1	2	2	4	1	2	2	
36-Finanzas	4	6	4	7	8	3	14	3	4	5	4	3	3	5	8	4	4	3	8	4	3	2	48	3	18	5	4	3	2	3	3	2	3	2	3	2	8
37-Ss. inmobiliarios y emp.	7	5	6	9	5	3	6	6	7	7	7	7	8	8	9	10	7	5	4	7	8	5	3	8	3	6	6	4	5	4	6	5	4	8	6	10	
38-Act. profesionales	5	9	3	4	8	2	6	5	6	6	4	5	4	9	7	3	5	4	4	5	4	4	5	4	8	8	4	5	5	2	4	5	6	7	2	7	
39-Act. administrativas	3	4	2	3	3	3	1	2	4	3	4	3	3	5	5	2	3	3	5	3	3	3	4	3	5	6	3	2	2	1	2	3	3	3	2	4	
40-Admin. pública	4	4	4	7	8	3	5	4	5	4	4	5	4	5	4	7	5	2	4	4	4	2	5	3	5	6	3	3	5	6	4	4	4	4	4	8	
41-Enseñanza	3	3	2	4	1	2	3	2	3	4	3	3	3	4	3	3	2	1	2	2	3	1	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	4	2	4	2	
42-Ss. Soc. y de salud	5	5	3	6	6	1	3	3	6	7	5	3	7	6	7	3	4	3	5	6	3	2	3	3	6	8	3	4	3	3	2	4	7	2	7		
43-Ss. culturales	1	1	2	1	1	0	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	2	20	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
44-Otros ss.	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
45-Hogares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Nota: los colores están definidos en función de los valores de cada fila, es decir de cuán importante es un sector en cada país. Las etiquetas corresponden a la participación de cada sector (fila) en el producto nacional. Cada columna suma 100.

Fuente: Elaboración propia en base a OECD.

## Referencias

- Acemoglu, D., Akcigit, U., y Kerr, W. (2016). Networks and the macroeconomy: An empirical exploration. *Nber macroeconomics annual*, 30(1):273–335.
- Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A., y Tahbaz-Salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 80(5):1977–2016.
- Acemoglu, D., Ozdaglar, A., y Tahbaz-Salehi, A. (2015). Networks, shocks, and systemic risk. En Bramoullé, Y., Galeotti, A., y Rogers, B., editores, *The oxford handbook on the economics of networks*. Oxford University Press, Oxford.
- Alatryste Contreras, M. y Fagiolo, G. (2014). Propagation of economic shocks in input-output networks: A cross-country analysis. *Physical Review E*, 90(6):062812.
- Arto, I., Dietzenbacher, E., y Rueda-Cantuche, J. (2019). *Measuring bilateral trade in terms of value added*. Publications Office of the European Union.
- Baqae, D. R. y Farhi, E. (2019). The macroeconomic impact of microeconomic shocks: Beyond hulten’s theorem. *Econometrica*, 87(4):1155–1203.
- Baqae, D. R. y Farhi, E. (2020). Productivity and misallocation in general equilibrium. *The Quarterly Journal of Economics*, 135(1):105–163.
- Bellingeri, M., Bevacqua, D., Scotognella, F., Alferi, R., y Cassi, D. (2020). A comparative analysis of link removal strategies in real complex weighted networks. *Scientific reports*, 10(1):1–15.
- Bems, R., Johnson, R. C., y Yi, K.-M. (2010). Demand spillovers and the collapse of trade in the global recession. *IMF Economic review*, 58(2):295–326.
- Bouwmeester, M. C. y Oosterhaven, J. (2017). Economic impacts of natural gas flow disruptions between russia and the eu. *Energy Policy*, 106:288–297.
- Carvalho, V. y Gabaix, X. (2013). The great diversification and its undoing. *American Economic Review*, 103(5):1697–1727.
- Christ, C. F. (1955). A review of input-output analysis. *Input-output analysis: An appraisal*, pp. 137–182.
- Cochrane, J. (2009). *Asset pricing: Revised edition*. Princeton university press.
- Conley, T. G. y Dupor, B. (2003). A spatial analysis of sectoral complementarity. *Journal of political Economy*, 111(2):311–352.
- Costa, S., Sallusti, F., y Vicarelli, C. (2022). Trade networks and shock transmission capacity: a new taxonomy of italian industries. *Journal of Industrial and Business Economics*, 49(1):133–153.
- Costa, S., Sallusti, F., Vicarelli, C., y Zurlo, D. (2021). From micro to macro: Micro-foundations of the italian business cycle co-movements during the crises. *Italian Economic Journal*, pp. 1–24.
- D’Anieri, P. (2023). *Ukraine and Russia*. Cambridge University Press.
- del Rio-Chanona, R. M., Mealy, P., Pichler, A., Lafond, F., y Farmer, J. D. (2020). Supply and demand shocks in the covid-19 pandemic: an industry and occupation perspective. *Oxford Review of Economic Policy*, 36(S1):S94–S137.
- Delli Gatti, D. y Reissl, S. (2022). Agent-based covid economics (abc): Assessing non-pharmaceutical interventions and macro-stabilization policies. *Industrial and Corporate Change*, 31(2):410–447.
- Di Giovanni, J., Levchenko, A. A., y Mejean, I. (2014). Firms, destinations, and aggregate fluctuations. *Econometrica*, 82(4):1303–1340.
- Di Giovanni, J., Levchenko, A. A., y Mejean, I. (2018). The micro origins of international business-cycle comovement. *American Economic Review*, 108(1):82–108.

- Duchin, F. (1983). The world model: An interregional input-output model of the world economy. *Contributions to Economic Analysis*, 147:167–182.
- Durán Lima, J. E. y Banacloche, S. (2021). Análisis económicos a partir de matrices de insumo-producto: definiciones, indicadores y aplicaciones para américa latina.
- Fagiolo, G., Reyes, J., y Schiavo, S. (2009). World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution. *Physical Review E*, 79(3):036115.
- Fernandez-Stark, K. y Gereffi, G. (2019). Global value chain analysis: A primer. En *Handbook on global value chains*, pp. 54–76. Edward Elgar Publishing.
- Gabaix, X. (2011). The granular origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 79(3):733–772.
- Galbusera, L. y Giannopoulos, G. (2018). On input-output economic models in disaster impact assessment. *International journal of disaster risk reduction*, 30:186–198.
- Gilli, M. y Winker, P. (2003). A global optimization heuristic for estimating agent based models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 42(3):299–312.
- Grazzini, J. y Richiardi, M. (2015). Estimation of ergodic agent-based models by simulated minimum distance. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 51:148–165.
- Guilhoto, J., Webb, C., y Yamano, N. (2022). Guide to oecd tiva indicators, 2021 edition. Working Paper 2022/02, OECD Science, Technology and Industry Working Papers.
- Kleinberg, J. M. (1999). Authoritative sources in a hyperlinked environment. *Journal of the ACM (JACM)*, 46(5):604–632.
- Koks, E., Pant, R., Husby, T., Többen, J., y Oosterhaven, J. (2019). Multiregional disaster impact models: Recent advances and comparison of outcomes. *Advances in spatial and economic modeling of disaster impacts*, pp. 191–218.
- Lamperti, F. (2018). An information theoretic criterion for empirical validation of simulation models. *Econometrics and Statistics*, 5:83–106.
- Leontief, W. (1986). *Input-output economics*. Oxford University Press.
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative input and output relations in the economic systems of the united states. *The review of economic statistics*, pp. 105–125.
- Long, J. B. y Plosser, C. I. (1983). Real business cycles. *Journal of political Economy*, 91(1):39–69.
- Miller, R. E. y Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press.
- Miyazawa, K. (1968). Input-output analysis and interrelational income multiplier as a matrix. *Hitotsubashi Journal of Economics*, 8(2):39–58.
- Mottaleb, K. A., Kruseman, G., y Snapp, S. (2022). Potential impacts of ukraine-russia armed conflict on global wheat food security: A quantitative exploration. *Global Food Security*, 35:100659.
- Perdana, S., Vielle, M., y Schenckery, M. (2022). European economic impacts of cutting energy imports from russia: A computable general equilibrium analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44:101006.
- Pichler, A., Pangallo, M., del Rio-Chanona, R. M., Lafond, F., y Farmer, J. D. (2022). Forecasting the propagation of pandemic shocks with a dynamic input-output model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 144:104527.
- Reissl, S., Caiani, A., Lamperti, F., Guerini, M., Vanni, F., Fagiolo, G., Ferraresi, T., Ghezzi, L., Napoletano, M., y Roventini, A. (2022). Assessing the economic impact of lockdowns in italy: A computational input-output approach. *Industrial and Corporate Change*, 31(2):358–409.
- Romanoff, E. y Levine, S. H. (1986). Capacity limitations, inventory, and time-phased production in the sequential interindustry model. *Papers in Regional Science*, 59(1):73–91.

- Shea, J. (2002). Complementarities and comovements. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 34(2):412–433.
- Sraffa, P. (1960). *Production of Commodities by Means of Commodities: Prelude to a Critique of Economic Theory*. Cambridge University Press.
- Umar, Z., Polat, O., Choi, S.-Y., y Teplova, T. (2022). The impact of the russia-ukraine conflict on the connectedness of financial markets. *Finance Research Letters*, 48:102976.