

ESTUDIOS ECONÓMICOS ESTADÍSTICOS

Huella de Carbono para la Economía Chilena
2017

Felipe Avilés-Lucero
Gabriel Peraita
Camilo Valladares

N.º135 Abril 2021





A contar del número 50, la Serie de Estudios Económicos del Banco Central de Chile cambió su nombre al de Estudios Económicos Estadísticos.

Los Estudios Económicos Estadísticos divulgan trabajos de investigación en el ámbito económico estadístico realizados por profesionales del Banco Central de Chile, o encargados por éste a especialistas o consultores externos. Su contenido se publica bajo exclusiva responsabilidad de sus autores y no compromete la opinión del Instituto Emisor. Estos trabajos tienen normalmente un carácter definitivo, en el sentido que, por lo general, no se vuelven a publicar con posterioridad en otro medio final, como una revista o un libro.

As from issue number 50, the *Series of Economic Studies of the Central Bank* of Chile will be called *Studies in Economic Statistics*.

Studies in Economic Statistics disseminates works of investigation in economic statistics carried out by professionals of the Central Bank of Chile or by specialists or external consultants. Its content is published under exclusive responsibility of its authors and it does not reflect the opinion of the Central Bank. These documents normally are definitives and are not made available in any other media such as books or magazines.

Huella de Carbono para la Economía Chilena 2017*

Felipe Avilés-Lucero
División de Estadísticas
Banco Central de Chile

Gabriel Peraita
División de Estadísticas
Banco Central de Chile

Camilo Valladares
División de Estadísticas
Banco Central de Chile

Resumen

En el presente trabajo se estima la huella de carbono de las industrias chilenas en términos de CO2 equivalente para un conjunto de gases de efecto invernadero, utilizando un enfoque de insumo-producto que da cuenta de las diferentes tecnologías de generación eléctrica. El objetivo de este estudio es entregar una metodología para medir la huella de carbono y aportar en el análisis de la reducción de emisiones y la contribución que hagan distintos sectores a este propósito. Nuestros resultados muestran que, para el año 2017, la generación de electricidad en base a carbón y la industria manufacturera se ubican como los mayores emisores directos de CO2, en tanto en términos de huella de carbono, la industria manufacturera y la minería muestran los mayores niveles de CO2 incorporado. En cuanto a la demanda final, las exportaciones presentan la mayor participación en la huella de carbono, explicada principalmente por la orientación al mercado externo de la minería y parte de la industria manufacturera.

Abstract

In the present paper, we estimate the carbon footprint of Chilean industries in terms of CO2 equivalent for a set of greenhouse gases, using an input-output approach that accounts for the different electricity generation technologies. The objective of this study is to provide a methodology to measure the carbon footprint and to contribute to the analysis of the reduction of emissions and the effect that different sectors make to this purpose. Our results show that, for the year 2017, the generation of electricity based on coal and the manufacturing industry are located as the largest direct emitters of CO2, while in terms of carbon footprint, the manufacturing industry and mining show the highest levels of incorporated CO2. Regarding final demand, exports have the highest share of the carbon footprint, mainly explained by the orientation towards the external market of mining and part of the manufacturing industry.

* Emails: Felipe Avilés-Lucero faviles@bcentral.cl, Gabriel Peraita gperaita@bcentral.cl y Camilo Valladares cvalladares@bcentral.cl. Los autores agradecen los comentarios de Joaquín Vial, Francisco Ruiz, Simón Guerrero y Sebastián Rébora. Asimismo, se agradece al Ministerio de Medio Ambiente por compartir información útil para la realización de este estudio.

1. Introducción

El presente documento da a conocer la huella de carbono de las actividades económicas chilenas para el año 2017, mediante una descripción detallada de las interacciones entre las diferentes actividades y las transferencias de CO₂ que estas interacciones implican. Su objetivo es entregar una metodología para medir la huella de carbono y aportar en el análisis de la reducción de emisiones y la contribución que hagan distintos sectores a este propósito. En efecto, en los últimos años este método ha ganado preponderancia en la evaluación del impacto de impuestos al carbono en diferentes economías.¹

El objetivo de reducir las emisiones de CO₂ tiene una larga trayectoria y los países han firmado diferentes acuerdos para lograrlo. Entre los compromisos en los que Chile ha participado se encuentran el Protocolo de Kioto de 1997 y el Acuerdo de París de 2015, este último con el fin de limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales lo antes posible. Para cumplir con lo anterior, se ha propuesto una amplia gama de instrumentos de política pública, destacando un impuesto a las emisiones de carbono y los bonos de carbono. El presente trabajo es un componente adicional para medir el impacto de tales impuestos y su efecto en los precios y la demanda.

Respecto de la medición de gases de efecto invernadero (GEI), ésta ha tenido principalmente dos enfoques: el basado en la producción y el basado en el consumo. El método basado en la producción da cuenta de las emisiones directas de las actividades sin considerar su uso (intermedio o demanda final); este método fue el utilizado en acuerdos globales sobre cambio climático tales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto. En contraste, el enfoque basado en el consumo mide las emisiones de CO₂ considerando las relaciones insumo-producto entre actividades y entre éstas y la demanda final.

La huella de carbono según el enfoque basado en el consumo, también denominado insumo-producto (I-O)², ha sido una herramienta recurrente para analizar el impacto de las tendencias de consumo en las emisiones de CO₂.³ A nivel internacional, estudios sobre el consumo de energía de los hogares y su efecto en las emisiones de CO₂ se encuentran para Corea (Park & Heo, 2007), Brasil (Cohen, Lenzen, & Schaeffer, 2005) e Italia (Cellura, Longo, & Mistretta, 2012), entre otros. Para Australia, (Wood & Dey, 2009) presenta una descripción completa de la huella a nivel industrial y (Zheng, Fang, Wang, Wang, & Ren, 2017) realiza un análisis similar para China.

Para el caso chileno, una estimación previa de la huella de carbono que utiliza el enfoque basado en el consumo se encuentra en (López, Accorsi, & Sturla, 2016). En su estudio, los autores calculan la huella de carbono industrial en Chile usando información basada en el balance energético nacional y analizan el efecto de un cambio en la matriz energética en las emisiones de CO₂. En un siguiente estudio y bajo la misma metodología, (Mardóñez & Muñoz, 2017), se analiza la implementación de un impuesto al carbono en la actividad energética. Nuestro trabajo es una actualización y extensión de estos estudios al brindar una descripción completa de las emisiones incorporadas en las industrias mediante la medición de un conjunto más amplio de los GEI y de la extensión de los Cuadros de Oferta y Uso (COU).^{4,5}

De acuerdo con el modelo basado en el consumo, la estimación de la huella de carbono considera dos componentes: i) matriz de insumo-producto y ii) vector de emisiones directas a nivel de actividad económica. Ambos son publicados por diferentes instituciones, Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y Banco Central de Chile (BCC), las cuales utilizan distintas desagregaciones de actividad económica, lo que dificulta su homologación.

¹ Ver, por ejemplo, (Girod, van Vuuren, & Hertwich, 2014), (Steininger, et al., 2014), (Guan, et al., 2014) y (Jakob, Steckel, & Edenhofer, 2014).

² La abreviación I-O viene de del inglés input-output.

³ Para una exposición completa sobre las diferentes aplicaciones del modelo basado en el consumo, ver (Minx & al., 2009).

⁴ En el Apéndice C se realiza un ejercicio sobre impuestos a las emisiones incorporadas de CO₂.

⁵ Otro estudio sobre impuestos al carbono para Chile se encuentra en (Espinosa & Fornero, 2014).

Para la medición del vector de emisiones directas, se utilizaron principalmente dos fuentes de información: el Registro Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) y el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). Ambas son publicadas por el MMA. El RETC contiene las emisiones de CO₂ equivalente (CO₂ eq) a nivel de establecimiento, lo que permite hacer una clasificación de las emisiones por actividad económica coherente con las cuentas nacionales.⁶ Esta información fue complementada con el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) para una medición exhaustiva del CO₂ equivalente (CO₂ eq) emitido a nivel de actividad económica.⁷ El resultado final es un vector a nivel de 115 actividades económicas, que contabiliza los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), todos ellos medidos en términos de CO₂ equivalente.

Además, en el estudio se consideraron las emisiones de fuentes difusas utilizando el consumo de diésel y gasolina registrado en los COU⁸ para el año 2017, publicados en las cuentas nacionales (CCNN). Estas emisiones son relevantes para actividades que son intensivas en consumo de combustibles refinados de petróleo como el transporte.

Respecto de las emisiones directas de CO₂, gran parte se produce en la actividad de generación eléctrica, específicamente la generada en base a carbón.⁹ Por lo tanto, si se pretende medir de forma precisa la huella de carbono de las actividades económicas, es crucial tener una descripción detallada de la demanda por electricidad por tipo de generación para cada actividad económica. Los COU publicados por el BCCh presentan los insumos utilizados en la generación de energía, pero, como es habitual en este tipo de estadísticas, la oferta no da cuenta de las diferentes tecnologías utilizadas en la generación energética. Por ello, para lograr una mejor medición de la huella de carbono, se desagregó la oferta de generación de energía, contabilizando por sus diferentes insumos de producción: carbón, gas natural (GN), biomasa, diésel (DF), recursos renovables no convencionales —eólica y solar— (ERNC) e hidroeléctrica.

Los resultados se resumen en la figura 1, donde se exhiben las emisiones directas de CO₂ a nivel sectorial, la redistribución de éstas acorde a las relaciones insumo-producto y el destino final del CO₂ según componente de la demanda final. Los procesos productivos en generación eléctrica e industria manufacturera son los que presentan las mayores emisiones directas de CO₂, seguidos de la actividad agropecuario-silvícola-pesca y el transporte. En contraste, si medimos la huella de carbono, la industria manufacturera y la minería aparecen con los mayores niveles de CO₂ integrado. La primera absorbe las emisiones generadas en la misma industria y parte de las emitidas en la actividad agropecuario-silvícola-pesca mientras que la segunda absorbe gran parte de las emisiones de EGA, puesto que demanda electricidad en base a carbón. Respecto de las actividades agropecuario-silvícola-pesca y transporte, su huella de carbono es menor a las emisiones directas dado que su producción es mayormente insumida por otras actividades económicas. Construcción, por su parte, presenta una huella de carbono que proviene de la industria manufacturera, en particular, de la producción de cemento.

Al medir la huella de carbono en términos de los componentes de la demanda final, se observa que los productos exportados absorben 48,0% del total emitido, proveniente principalmente de las huellas de la minería y la industria manufacturera. El consumo privado (hogares e instituciones privadas sin fines de lucro), en tanto, representa 37,3% del total emitido; el origen de estas emisiones es diverso, reflejando principalmente la canasta de consumo de los

⁶ Desde el año 2017, RETC es una muestra exhaustiva de las emisiones producto de la implementación de un impuesto a las emisiones de CO₂ basada en esta información.

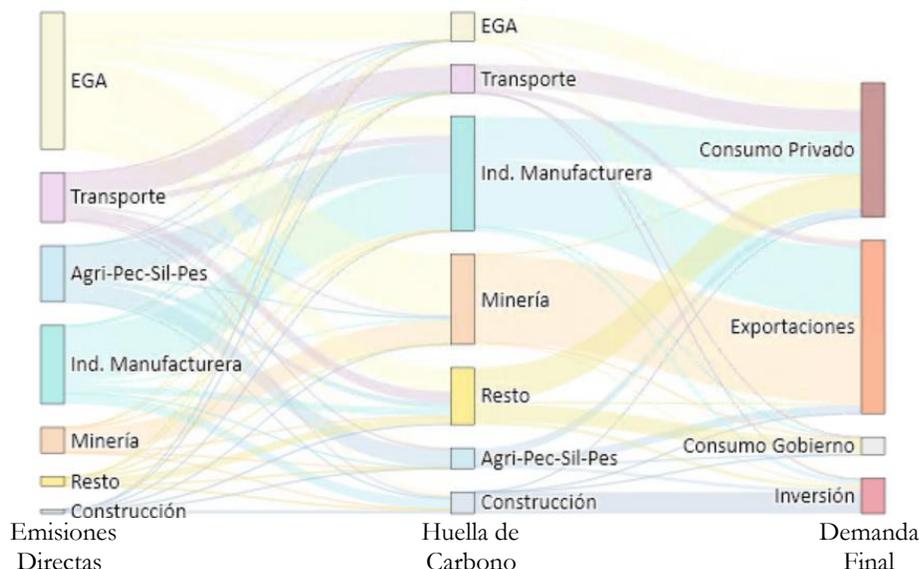
⁷ Un ejemplo son las emisiones de gas metano por la actividad gestión de desechos, la que se estimó utilizando data del INGEI. Por otro lado, para la minería del cobre se utilizaron las emisiones reportadas por (Comisión Chilena del Cobre, 2020).

⁸ El COU es una herramienta analítica que organiza la información de oferta y uso, a nivel de producto y actividad económica, y cuya cuadratura determina el equilibrio contable de los agregados macroeconómicos desde los enfoques de origen, gasto e ingreso

⁹ El documento no incluyó los esfuerzos por parte de las empresas de neutralizar su huella de carbono, dado que su estimación estuvo fuera del alcance de éste.

hogares¹⁰. Finalmente, las huellas de carbono de inversión y consumo de gobierno provienen de construcción y administración pública, respectivamente.

Figura 1
Emisiones directas y huella de carbono
(Mt CO₂ eq)



Nota: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. La actividad Resto incluye: comercio (minorista, mayorista y automotor), restaurantes y hoteles, comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública; Consumo Privado incluye el consumo de los hogares y de instituciones privadas sin fines de lucro.

El presente trabajo contribuye a la discusión sobre impuestos verdes entregando una herramienta para medir el impacto de un impuesto al consumo acorde al monto de CO₂ emitido en el proceso productivo, contabilizando emisiones directas e indirectas. En efecto, estimaciones basadas en el modelo I-O dan cuenta de que un impuesto de 5USD por tonelada de CO₂ incorporada en la producción, reduce las emisiones totales en 2,9%.

Junto con la publicación de este documento, se ponen a disposición del público los principales insumos utilizados en este estudio, a saber: matriz de insumo-producto con el mayor desglose en la generación eléctrica y vector de emisiones directas, ambos para el año 2017. Estos datos consideran un desglose de 115 actividades y serán actualizados anualmente de acuerdo con el calendario de publicaciones del Banco Central de Chile.

El documento se organiza de la siguiente forma: la sección 2 da a conocer el modelo insumo-producto para el cálculo de la huella de carbono; en la sección siguiente se presentan los datos utilizados en este estudio para luego ilustrar los principales resultados en la sección 4. Las conclusiones se presentan en la sección 5.

2. Metodología

En esta sección se presenta el modelo insumo-producto propuesto en (Leontief, 1936) y su extensión al cálculo de la huella de carbono. Supongamos una economía con N actividades económicas denotadas por $i \in \{1, \dots, N\}$. Cada actividad i emite $e_i \geq 0$ al medio ambiente, medidas en millones de toneladas (Mt) de CO₂ eq; el vector de emisiones para todas las industrias es $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_N)$. Definimos también a $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_N)$ como el vector de producción medido en millones de CL\$. Las emisiones por valor producido se pueden formular como:

¹⁰ Estas emisiones no contabilizan las emisiones directas de los hogares por quema de leña y uso de combustible.

$$\mathbf{e}^d = \mathbf{e}'\hat{\mathbf{q}}^{-1}, \quad (1)$$

donde $\hat{\mathbf{q}}$ es una matriz diagonal con \mathbf{q} en su diagonal y \mathbf{e}' es la transpuesta del vector \mathbf{e} ; cada componente de \mathbf{e}^d mide el monto de Mt de CO2 emitido de forma directa por las actividades económicas, por millón de CL\$ producido.

El método de cálculo basado en el consumo utiliza el modelo de insumo-producto propuesto por (Leontief, 1936) para el cálculo de las emisiones incorporadas en la producción de bienes y servicios. Según el modelo de insumo-producto, el valor de la producción \mathbf{q} puede expresarse como:

$$\mathbf{q} = \mathbf{A}\mathbf{q} + \mathbf{y}, \quad (2)$$

donde \mathbf{A} (de tamaño $N \times N$) es la matriz de coeficientes directos; las columnas de \mathbf{A} dan el monto de insumos requerido por unidad de valor producido. La demanda final se representa por \mathbf{y} , compuesta por la suma del consumo privado y gobierno, inversión y exportaciones; este vector también se expresa en millones de CL\$. La ecuación (2) muestra que la producción de una actividad tiene dos tipos de usos: producción de otros bienes/servicios $\mathbf{A}\mathbf{q}$ o demanda final \mathbf{y} . La ecuación (2) puede reescribirse como:

$$\mathbf{q} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}. \quad (3)$$

A la matriz $\mathbf{L} \equiv (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ se le conoce como inversa de Leontief, y sus elementos muestran el impacto de un aumento exógeno de la demanda final en la producción de las diferentes actividades. Por ejemplo, l_{ij} da el monto de insumo de la actividad i necesario en la producción de la actividad j por unidad de demanda final del bien j .

En términos de las emisiones incorporadas en el proceso productivo, para un vector de demanda final \mathbf{y} , si la actividad j demanda un monto $l_{ij}y_j$ de insumos desde la actividad i , las emisiones directas para la producción de este nivel de insumo son $e_i^d l_{ij}y_j$ Mt de CO2. Si contabilizamos las emisiones de CO2 de todas las actividades que participan en la producción del bien j , obtenemos las emisiones incorporadas en su producción (E_j^e):

$$E_j^e = e_1^d l_{1j}y_j + \dots + e_N^d l_{Nj}y_j.$$

A estas emisiones incorporadas se les denomina huella de carbono. La expresión anterior puede reescribirse en forma matricial como:

$$\mathbf{E}^e = \mathbf{e}^d \mathbf{L} \hat{\mathbf{y}} \equiv \mathbf{e}^d (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{y}}. \quad (4)$$

Por ejemplo, si la producción de la actividad j tiene como único uso el consumo intermedio de otras industrias ($y_j = 0$), su huella de carbono será cero ($E_j^e = 0$) independiente de que emita CO2 de forma directa; esto porque todas sus emisiones serán canalizadas a las actividades que demandan su producción. De modo similar, en actividades cuya producción sólo tiene destino demanda final, incluso si no emiten CO2 de forma directa, tendrá una huella de carbono positiva si los insumos utilizados en el proceso productivo emitieron CO2.

Una de las ventajas del enfoque basado en el consumo es su flexibilidad para evaluar, por ejemplo, los efectos de un impuesto verde en el total emitido y posibles efectos redistributivos. En el apéndice C se realiza este ejercicio en base a un impuesto a la huella de carbono.

3. Datos

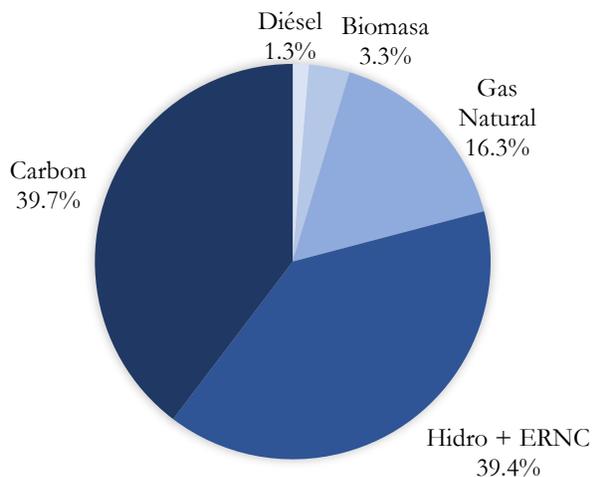
Como se mencionó en la sección anterior, el método I-O para el cálculo de la huella de carbono requiere de dos elementos: i) la matriz de insumo-producto y ii) el vector de emisiones directas. En las siguientes secciones se dan a conocer ambos elementos y su estimación.

3.1 Matriz de insumo-producto extendida

Mientras mayor sea la desagregación de productos e industrias en los COU mejor será la medición de las relaciones de insumo-producto y, por consiguiente, mayor será la precisión en la medición de la huella de carbono. Los COU en Chile dan cuenta de 181 productos y 111 actividades¹¹, siendo una de estas actividades EGA¹². Dentro de EGA, la oferta de generación eléctrica no diferencia por tipo de tecnología. Dado que las diferentes tecnologías y/o combustibles insumidos en la generación eléctrica tienen diferentes coeficientes de emisión por megavatio hora (MWh) producido, su agregación en un producto/actividad no reflejaría con precisión la huella de carbono.

La matriz de generación eléctrica para el año 2017 se muestra en la figura 2. La generación en base a carbón representa 39,7% del total producido, seguida por la hidroelectricidad y las energías renovables no convencionales (Hidro+ERNNC) con 39,4% y el gas natural con 16,3%. Por último, la generación eléctrica en base a biomasa representó 3,3% del total y la en base a diésel 1,3%.

Figura 2
Participación en la generación eléctrica por tipo de tecnología 2017
(como % del total)



Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional.

Tabla 1
Factores de emisión

Tecnología	Emisiones de CO2 (toneladas de CO2 por Terajoule)
Biomasa	112,0
Carbón coque	107,0
Otro carbón bituminoso	94,6
Diésel	74,1
Gas natural	56,1

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Nota: Carbón coque incluye coque para horno de coque y coque de lignito.

Acorde con la matriz energética, en la tabla 1 se dan a conocer los factores de emisión de CO2 por tipo de combustible. La biomasa tiene el factor de emisión más alto¹³, seguido por el carbón y el diésel. Si bien el gas natural

¹¹ De acuerdo con el calendario de publicación de estadísticas del BCCh, los COU se publican con 27 meses de desfase. Actualmente, la última publicación disponible para este estudio corresponde al año 2018, sin embargo, cuando se elaboró el documento la última publicación correspondía al año 2017.

¹² EGA agrupa las actividades de electricidad, gas, agua y gestión de desechos.

¹³ Cabe recordar que las emisiones con origen en biomasa no son contabilizadas en el protocolo de Kioto; sin embargo, las incluimos en nuestro estudio por razones de completitud. Para un análisis donde se descuentan las emisiones de biomasa (originadas en la industria manufacturera), ver subsección 4.4.

también es un combustible fósil, su nivel de emisiones por MWh producido es considerablemente menor a los anteriores. En contraste, las emisiones directas de CO₂ en hidroelectricidad y ERNC son nulas y no se muestran en la tabla.

Con el objeto de lograr una medición de huella de carbono más precisa, se optó por extender los COU, desagregando la oferta eléctrica en las siguientes tecnologías: i) carbón, ii) gas natural, iii) biomasa, iv) diésel y v) hidroeléctrica+ERNC.

El procedimiento para obtener el nuevo desglose implicó extender los cuadros de oferta y uso intermedio de origen nacional en el COU. Respecto del cuadro de oferta, la generación eléctrica se desagregó usando información publicada por el Coordinador Eléctrico Nacional, que permite identificar el monto de generación eléctrica por tipo de combustible. Respecto de las producciones e insumo secundarios, los productos relativos a cada tipo de tecnología fueron asignados de forma directa, y para el resto de la producción o insumos la asignación fue proporcional a la estructura de producción principal.

En tanto, para el cuadro de consumo intermedio, la asignación de la oferta de electricidad por tipo de combustible se realizó separando a los demandantes/clientes entre libres y regulados en base al “Retiro de Energía por Clientes Libres” publicado por el Coordinador Eléctrico Nacional. Los clientes regulados son los consumidores habituales de electricidad y los libres son quienes negocian directamente con las generadoras; este es el caso de mineras y compañías manufactureras. El remanente de generación eléctrica se asignó de forma proporcional al resto de los clientes regulados.¹⁴

Por otro lado, y conforme a la metodología de compilación de los COU publicados, la energía eléctrica que es consumida por los clientes regulados es demandada previamente por la actividad distribución eléctrica y luego comercializada al resto de las actividades y al consumo de los hogares. Para no perder el rastro de las emisiones de CO₂ por tipo de tecnología cuando ésta tiene como destino la demanda final, la distribución eléctrica se midió en forma neta, vinculando las emisiones de las generadoras a su respectiva huella de carbono. Para esto, la distribución eléctrica se midió en forma neta en términos de la producción y consumo intermedio. En el cuadro de uso, la distribución con destino consumo intermedio y final fue asignada usando proporciones fijas entre los servicios de generación y distribución.

Los resultados de este ejercicio se presentan en la tabla 2. En cuanto a la generación eléctrica en base a carbón (EGA-Carbón), la mayor parte de su producción tiene como destino la minería (60,1%), seguida por los hogares (11,6%). A su vez, la generación con gas natural (EGA-GN) es consumida principalmente por los hogares (27,6%), seguidos por la industria manufacturera y minería, con participaciones de 17,9 y 15,7%, respectivamente. Por último, la Hidroelectricidad+ERNC (EGA-Hidro+ERNC) muestra un cuadro similar: los hogares demandan 29,9% de lo producido, seguidos por la industria manufacturera y resto de servicios, con participaciones de 19,3 y 15,9%, respectivamente.

La estructura anterior implica que las emisiones por MWh para abastecer de electricidad a la minería son considerablemente mayores a las necesarias para proveer al resto de la economía, y esto debería reflejarse en la huella de carbono de minería. En efecto, al desagregar la generación eléctrica se evita sesgar a la baja las actividades que demandan principalmente electricidad en base a carbón y al alza las que demandan hidroelectricidad y/o electricidad en base a ERNC.

¹⁴ Hasta el 2017, la generación eléctrica estaba segmentada en dos sistemas: el sistema interconectado del norte grande (SING) y el sistema interconectado central (SIC). Desde el 2018 en adelante, estos sistemas fueron integrados en el sistema eléctrico nacional (SEN), dificultando la estimación de demanda eléctrica por tipo de tecnología.

Tabla 2
Destino de la electricidad por tipo de tecnología
 (como % del valor producido)

	Agri-Pec-Sil-Pes	Minería	Ind. Manufacturera	EGA	Construcción	Com-Rest-Hot	Transporte	Resto Ss.	Consumo hogares	Resto Demanda Final
EGA-Carbón	0,8	60,1	9,7	5,7	0,6	3,4	1,1	6,4	11,6	0,5
EGA-GN	1,6	15,7	17,9	12,8	1,4	6,7	2,1	11,6	27,6	2,6
EGA-Diésel	0,5	75,6	4,4	5,3	0,4	2,0	0,7	3,9	6,7	0,5
EGA-Biomasa	1,1	3,4	58,2	6,1	0,7	4,5	1,5	8,5	15,5	0,5
EGA Hidro+ERNC	2,1	12,3	19,3	7,4	1,3	8,6	2,8	15,9	29,9	0,5

Fuente: Elaboración propia en base a información del Coordinador Eléctrico Nacional y CCNN del Banco Central de Chile. Notas: Las filas de la tabla muestran el porcentaje del total producido por destino (la suma de la fila es 100%). Los colores denotan el tamaño relativo de cada destino frente al resto; mientras más oscura es la celda, mayor es el porcentaje. EGA agrupa las actividades de electricidad, gas, agua y gestión de desechos; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública; y Resto Demanda Final incluye consumo de gobierno, inversión y exportaciones.

3.2 Vector de emisiones directas por actividad

El segundo componente en la medición de la huella de carbono es el vector de emisiones directas. Este vector debe ser extensivo, incluyendo las emisiones por distintos tipos de gases en su equivalente en CO₂ y a su vez debe tener una desagregación acorde a las actividades medidas en los COU. Su estimación involucró diferentes fuentes: i) Emisiones de CO₂ eq a nivel de establecimiento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), ii) Emisiones de CO₂ eq a nivel de actividad del INGEI, iii) Consumo de combustible diésel y gasolina a nivel de actividades y demanda final en los COU, y iv) Emisiones directas de la minería del cobre, de la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco). Las dos primeras son publicadas por el Ministerio del Medio Ambiente y la tercera por el BCCCh.

El RETC es público y recolecta información de emisiones y transferencias de contaminantes generados en las diferentes actividades económicas, a nivel de establecimiento. El RETC incluye emisiones de fuentes puntuales y difusas.¹⁵ Por otro lado, el INGEI consiste en una contabilización exhaustiva de las emisiones de GEI absorbidas por la atmósfera, que pueden vincularse directamente a la actividad humana (Ministerio del Medio Ambiente, 2021). Tanto RETC como el INGEI incluyen los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Es importante mencionar que en la estimación de emisiones directas no se consideraron los esfuerzos por parte de las empresas de neutralizar su huella de carbono, dado que su estimación estuvo fuera del alcance de este documento.

A continuación, se da a conocer el cálculo de las emisiones directas de CO₂ eq para las principales actividades que emiten CO₂ de forma directa en el año 2017.

a. Agropecuario-Silvícola-Pesca

Esta actividad se midió utilizando información del INGEI; la mayor parte de las emisiones provienen de la fermentación entérica en la actividad pecuaria (gas metano). Luego se añadieron las emisiones de CO₂ por efecto de conversión de tierras de cultivo.

¹⁵ Ver (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

b. Minería

El total de emisiones en minería proviene del INGEI. Sin embargo, las emisiones directas de la minería del cobre se obtuvieron de Cochilco¹⁶. El remanente de emisiones en la actividad (total INGEI menos las emisiones del cobre), fue distribuido entre el resto de las actividades mineras de forma proporcional utilizando las participaciones reportadas en el RETC.

c. Industria manufacturera

Las emisiones para esta actividad provienen mayormente del RETC. Esta fuente fue complementada con registros de cuentas nacionales (CCNN) para imputar y expandir la muestra del RETC al universo de establecimientos de CCNN. La expansión se realizó mediante extrapolación utilizando como indicador la producción de los establecimientos.

La mayor parte de las emisiones de CO₂ eq en esta actividad proceden de la industria de la celulosa y papel, debido a la generación eléctrica en base a biomasa. Si bien las emisiones de biomasa no están incluidas en el protocolo de Kioto, para obtener una descripción completa de las emisiones a nivel industrial éstas se incluyeron en la estimación de la huella de carbono. En la sección 4.4 se estima la huella de carbono excluyendo las emisiones por quema de biomasa.

d. Emisiones por consumo de gasolina y diésel

Para todas las actividades económicas se estimaron emisiones de CO₂ por consumo de combustibles derivados del petróleo (gasolina y diésel) acorde con las cifras publicadas en los COU. Primero, las cifras nominales de consumo fueron deflactadas utilizando los precios de combustibles del Coordinador Eléctrico Nacional. Estas cantidades fueron luego multiplicadas por factores de emisión obtenidos del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.¹⁷ De la misma forma, se estimaron emisiones directas de CO₂ por parte de los hogares por consumo de gasolina y diésel, las que fueron incluidas en la huella de carbono de estos últimos.

e. Gestión de desechos

Las emanaciones de esta actividad se obtuvieron del INGEI, gran parte de las cuales provienen del gas metano.

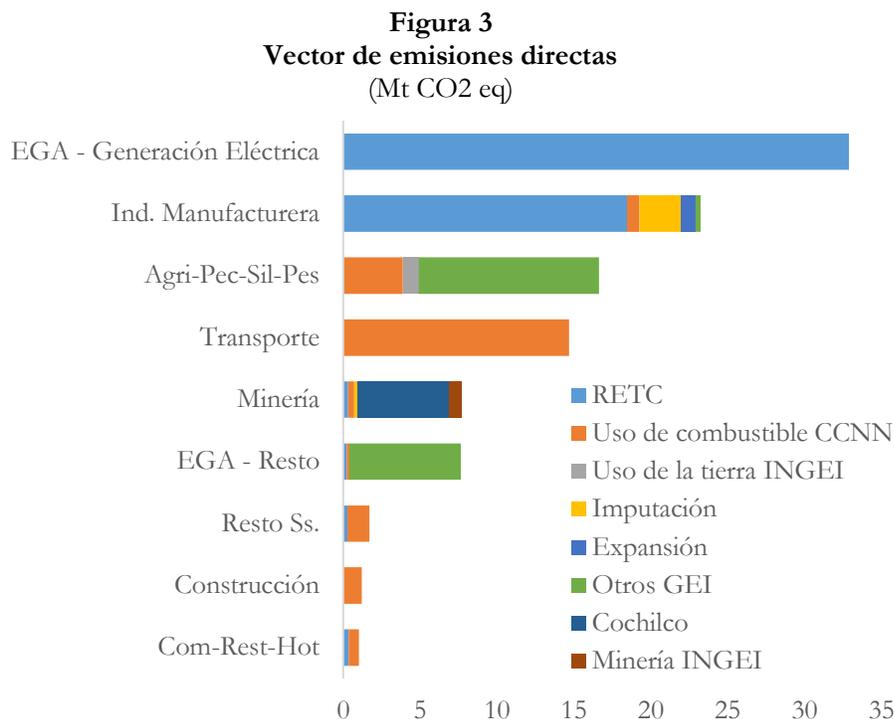
De acuerdo con nuestros resultados, Chile emitió 106,7 Mt de CO₂ eq en el año 2017; las emisiones del RETC representan 49,3% del total, cuyas principales fuentes son la generación eléctrica y la industria manufacturera. Las emisiones por consumo de combustible por parte de las actividades económicas representan 21,7% del total emitido por las mismas; si bien estas emisiones provienen principalmente de la actividad transporte, la mayoría de las actividades presentan emisiones por este concepto. Las emisiones por otros GEI tienen una participación de 18,1%, emanado principalmente de las actividades agropecuario-silvícola-pesca y gestión de desechos (figura 3).

En términos de actividades económicas, EGA fue el principal emisor de CO₂ eq con 40,5 Mt; la generación de electricidad en base a carbón y la gestión de desechos fueron las principales incidencias en esta actividad. La industria manufacturera aparece segunda en el ranking, con emisiones de 23,2 Mt CO₂ eq, destacando la industria de la celulosa. La actividad agropecuario-silvícola emitió 16,6 Mt CO₂ eq, destacando las emisiones de metano de la actividad pecuaria. Finalmente, la actividad transporte presentó emisiones de 14,7 Mt CO₂ eq derivados

¹⁶ Los datos para la minería del cobre son los publicados en (Comisión Chilena del Cobre, 2020) donde también se calcula la huella de carbono para la minería del cobre.

¹⁷ Los factores se calcularon en base a [“Consumo de Combustible y Emisiones de CO₂ Vehículos Homologados”](#).

mayormente del transporte terrestre de pasajeros y de carga. Estas actividades representan 89,1% del total emitido en el 2017 (figura 3).¹⁸



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Notas: EGA - Resto incluye distribución eléctrica, agua, gas y gestión de desechos; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

Minería contribuyó con 7,7 Mt CO2 eq, siendo cobre el mayor emisor en la actividad minera (6,0 Mt CO2 eq). El resto de las actividades tienen emanaciones por 3,9 Mt CO2 eq, representando 3,7% del total; la mayor parte de estas emisiones son producto del consumo de diésel y gasolina.

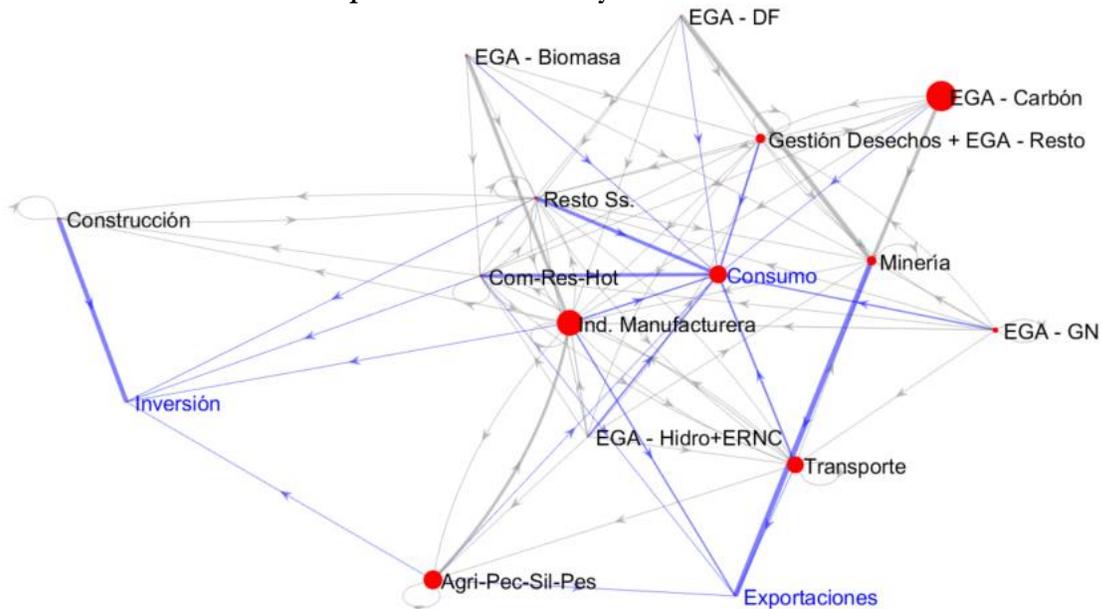
Una vez calculados el COU extendido¹⁹ y el vector de emisiones directas, podemos revisar los principales mecanismos en la estimación de la huella de carbono. En la figura 4 se muestran las relaciones insumo-producto entre actividades económicas y demanda final con sus respectivas emisiones directas de CO2 eq. Las flechas que conectan actividades entre sí reflejan el flujo de la producción y son representadas en color gris; las flechas que conectan actividades con los componentes de demanda final se exhiben en color azul. En rojo se muestran las emisiones directas.

La estimación de la huella de carbono implica rastrear los destinos de la producción, puesto que son éstos lo que determinan el destino de las emisiones; y el seguimiento de la producción —y, por ende, de las emisiones— se muestra en la figura 4. Por ejemplo, el principal destino de EGA-carbón es minería; como gran parte de la producción minera tiene destino demanda final, su huella de carbono debe incluir tanto las emisiones directas en minería como las derivadas de EGA-carbón.

¹⁸ En el Apéndice A se explican las diferencias a nivel de actividad económica entre el vector de emisiones directas y las cifras del INGEI.

¹⁹ COU que incluye la desagregación de la generación eléctrica por tipo de tecnología.

Figura 4
Matriz insumo-producto extendida y emisiones directas de CO2



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio de Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Notas: Consumo incluye consumo de los hogares, gobierno e instituciones privadas sin fines de lucro y aparece con las emisiones directas de CO2 por parte de los hogares. EGA - Resto incluye distribución eléctrica, agua y gas; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

En contraste, la actividad transporte posee insumos con bajos niveles de emisión de CO2, pero emite una considerable suma de CO2 debido al consumo de combustible. Dado que gran parte de sus servicios tienen destino demanda final, su huella de carbono es aproximadamente el porcentaje del total producido con destino hogares y exportaciones.

En la siguiente sección, se entregan los principales resultados de la estimación de la huella de carbono.

4. Resultados

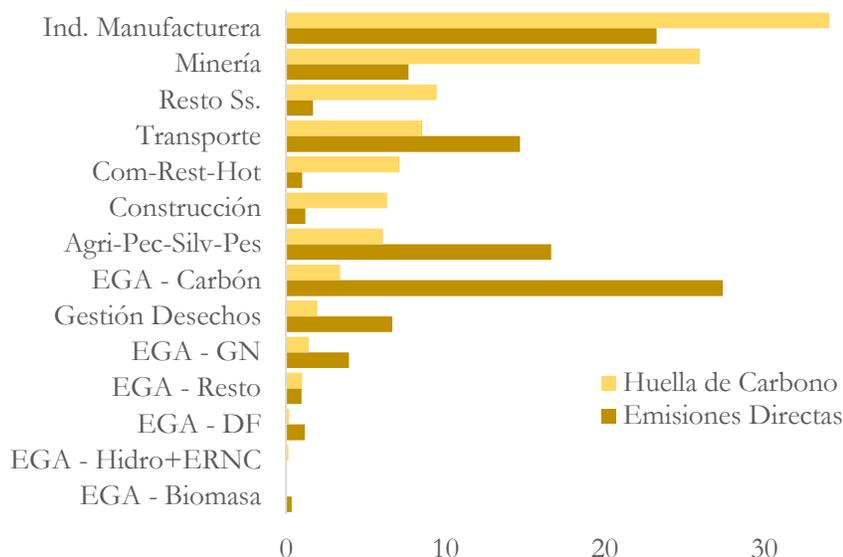
4.1 Huella de carbono industrial

De acuerdo con el modelo basado en el consumo, la actividad con mayor huella de carbono es la industria manufacturera con 33,9 Mt CO2 eq, representando 31,8% del total de emitido. La mayor parte de la huella en la industria manufacturera proviene de productos no durables, en particular, de la elaboración de alimentos y celulosa.

En segundo lugar, se encuentra la minería, con 26,5 Mt de CO2 eq incorporadas en su producción (24,9% del total emitido); la minería del cobre, por sí sola, tiene una huella de 24,5 Mt CO2 eq (figura 5), ubicándose como el principal sumidero de emisiones directas.

Con respecto al sector de servicios, transporte tiene una huella de carbono de 8,5 Mt CO2 eq, derivadas del transporte terrestre y aéreo de pasajeros; en la actividad comercio, restaurantes y hoteles presenta una huella de 7,1 Mt CO2 eq, donde el comercio minorista, mayorista y restaurantes tienen las mayores participaciones. Las emisiones incorporadas en resto de servicios (Resto Ss.) se derivan de administración pública (3,6 Mt CO2 eq) y salud privada y asistencia social (1,0 Mt CO2 eq).

Figura 5
Emisiones directas y huella de carbono
(Mt CO₂ eq)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Notas: EGA - Resto incluye distribución eléctrica, agua y gas; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

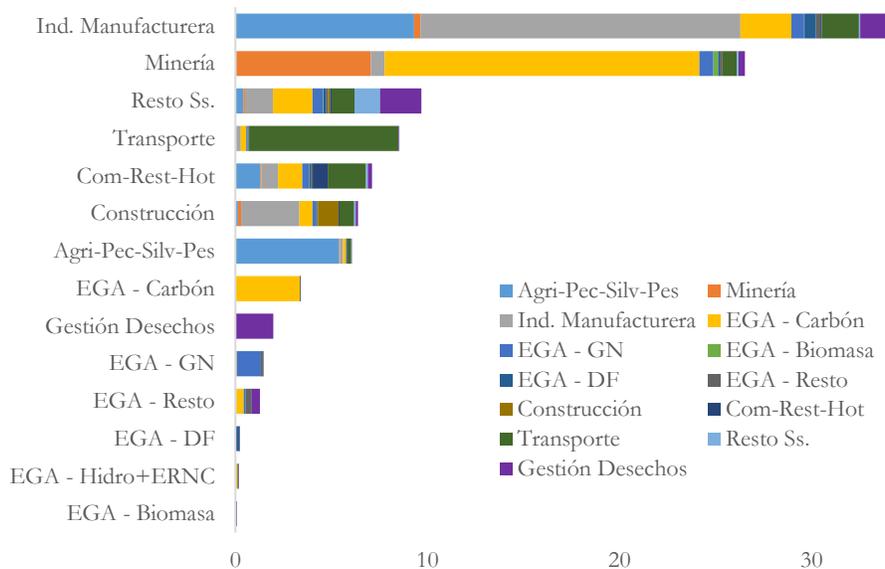
Destacan también las actividades construcción y agropecuario-silvícola-pesca, con huellas de 6,4 y 6,1 Mt CO₂ eq. En construcción sobresalen obras de ingeniería y edificación, y en agricultura el cultivo de frutas.

La reasignación de las emisiones directas, principal mecanismo detrás del modelo I-O, se puede observar en la figura 6, donde se descompone la huella de carbono por procedencia del CO₂. Por ejemplo, las emanaciones directas de EGA-carbón son asimiladas principalmente por las actividades de minería e industria manufacturera. El remanente de emisiones de esta actividad es absorbido principalmente por las actividades de servicios.

En cuanto a las emisiones directas de la industria manufacturera, la mayoría de ellas se reflejan en la misma industria, esto debido a que más del 73,0% de su producción tiene destino demanda final o industria manufacturera; la actividad construcción también absorbe parte de estas emisiones, puesto que es el principal demandante de cemento. Un resultado similar al anterior se observa en servicios de transporte, cuyo principal destino es demanda final (44,7% del valor producido).

En tanto, las emanaciones de CO₂ eq derivadas de la actividad agropecuario-silvícola-pesca se ven reflejadas en la industria manufacturera, particularmente en las actividades de alimentos, bebidas y tabaco. Finalmente, las emisiones de gestión de desechos aparecen en la mayoría de las actividades económicas dada la naturaleza de este servicio.

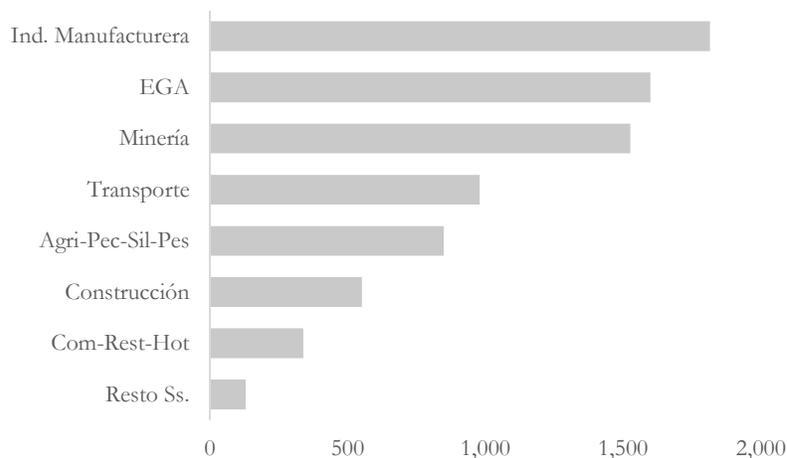
Figura 6
Huella de carbono por fuente de emisión directa
(Mt CO2 eq)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Notas: Resto EGA incluye distribución eléctrica, agua, gas; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

Si se analiza la huella de carbono respecto del valor agregado a nivel de actividades económicas, se observa que la industria manufacturera, EGA y minería son las actividades de mayor nivel de CO2 integrado por valor agregado. En contraste, el resto de los servicios posee el menor ratio (figura 7).

Figura 7
Ratio Huella de Carbono sobre Valor Agregado
(toneladas de CO2 eq / miles de millones de CL\$)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Notas: El valor agregado está medido en miles de millones de CL\$ del año 2017. EGA electricidad, agua, gas y gestión de desechos; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

4.2 Huella de carbono y demanda final

En vista de que la totalidad de la producción tiene como destino algún componente de la demanda final, cada uno de éstos puede ser asociado a un nivel de huella de carbono.

Respecto de las emisiones incorporadas en las actividades económicas, los productos exportados representan 48,0% de éstas; en tanto, el consumo privado anota 37,3%; la inversión y el consumo de gobierno tienen una participación menor, representando en conjunto 14,7% del total emitido (figura 8).

La huella de carbono de las exportaciones está compuesta principalmente por las huellas de minería e industria manufacturera (figura 9). En contraste, el consumo privado exhibe una huella de carbono con mayor diversificación, reflejando la canasta de consumo de los hogares; destacan los productos manufacturados, transporte, comercio, y restaurantes y hoteles y electricidad en base a carbón.

Por otro lado, el nivel de emisiones de la inversión proviene principalmente de la huella de carbono de construcción y en el caso del consumo de gobierno de otros servicios, en particular de la administración pública.

Figura 8
Huella de carbono industrial por componente de demanda final
(% del total)

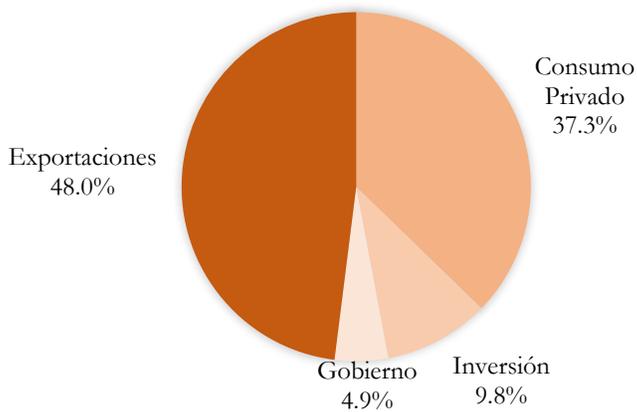
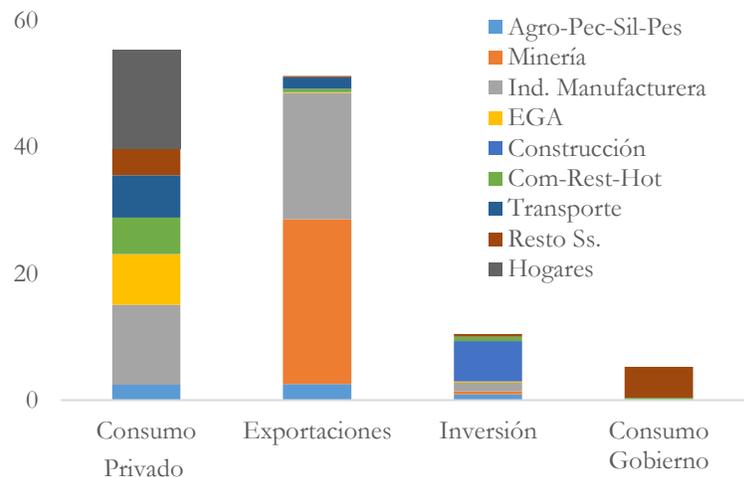


Figura 9
Huella de carbono de la demanda final por fuente
(Mt CO₂ eq)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio de Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Nota: Hogares representa las emisiones directas de CO₂ por parte de los hogares. EGA incluye electricidad, agua, gas y gestión de desechos; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

El caso de los hogares es diferente, dado que emiten de forma directa CO₂ al medio ambiente producto del consumo de combustibles fósiles y derivados del petróleo para calefacción y transporte privado. Las emisiones directas de los hogares no están incorporadas en el cálculo de huella de carbono sectorial debiéndose añadir al total estimado (tabla 3).

Tabla 3
Huella de Carbono Consumo Privado
(Mt CO₂ eq)

Emisiones incorporadas en productos/servicios	Emisiones directas	Huella de carbono total
39,8	15,7	55,5

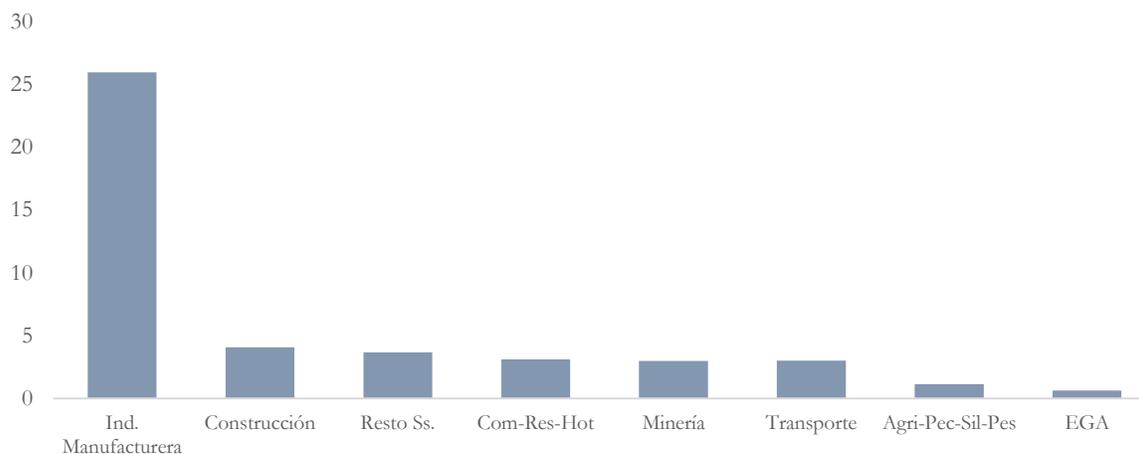
Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio de Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco.

En el año 2017, los hogares emitieron 9,0 Mt CO₂ por quema de leña y 6,7 Mt CO₂ por consumo de derivados del petróleo, añadiendo 15,7 Mt CO₂ al total emanado por las actividades económicas. Las emisiones directas de CO₂ por parte de los hogares representan 41,5% de las emisiones incorporadas en los productos consumidos por los mismos.

4.3 Huella de carbono importada

Hasta el momento, sólo se han contabilizado las emisiones derivadas de la producción nacional; sin embargo, la actividad económica de cualquier economía también incluye bienes y servicios producidos en el resto del mundo. Estos productos también contienen emisiones de CO₂ incorporadas y pueden ser asociadas al cálculo de la huella de carbono. La contabilización de estas emisiones es particularmente importante para una economía como la chilena, dado su nivel de apertura y grado de diversificación de los productos comercializados con los mercados internacionales.²⁰

Figura 10
Huella de carbono importada y destino por actividad económica
(Mt CO₂ eq)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio de Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Nota: Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

Los productos importados pueden tener dos usos: consumo intermedio o demanda final. Para el primer caso, su huella se incorpora a las actividades económicas que los demandan y en el segundo, su huella es asignada de forma directa al respectivo componente de la demanda final.²¹

Adicionalmente, tanto los productos exportados como los importados emiten CO₂ en su trayecto al destino final y estas emisiones deben incluirse en la estimación de la huella de carbono. Sin embargo, su estimación escapa del alcance de este estudio y no fueron añadidas en la estimación de esta sección.

La huella importada alcanzó 44,6 Mt CO₂ el año 2017, donde 63,1% es derivaba de los productos destinados al consumo intermedio y 36,9% de la demanda final. La industria manufacturera sobresale a nivel de actividades con 26,0 Mt CO₂ eq, destacando la maquinaria y equipo eléctrico y electrónico, la elaboración de combustibles,

²⁰ De la misma forma, el modelo basado en el consumo puede ser extendido para un cálculo de huella de carbono regional, ver (Peters & Hertwich, 2008), (Wiedmann, 2009) y (Mi, et al., 2016) para aplicaciones regionales de éste modelo.

²¹ La derivación de la huella de carbono importada se encuentra en el Apéndice B.

fabricación de equipos de transporte, maquinaria y equipo de uso industrial y doméstico y la elaboración y preparación de carne (figura 10).

4.4 Huella de carbono sin emisiones de biomasa

Las emisiones de CO₂ en base a biomasa forestal son consideradas neutrales si se tienen en cuenta las capturas de CO₂ por parte de los bosques, siempre y cuando éstos sean sustentables y no se observen cambios en el uso de la tierra. Este es el caso de los bosques que proveen de madera para la actividad de celulosa. Por esta razón, utilizando la información a nivel sectorial proporcionada por el INGEI, en esta sección se substraen las emisiones provenientes del uso de biomasa en el cálculo de la huella de carbono.

Figura 11

Huella de Carbono y emisiones por quema de biomasa

Figura 11.A

Huella de carbono por actividades (Mt CO₂ eq)

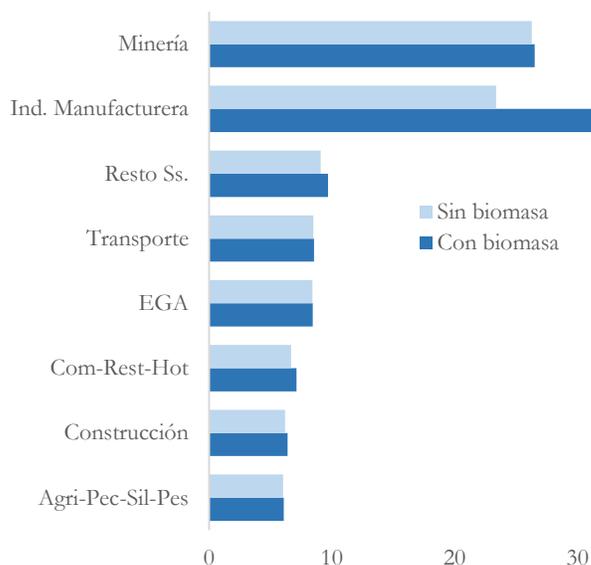
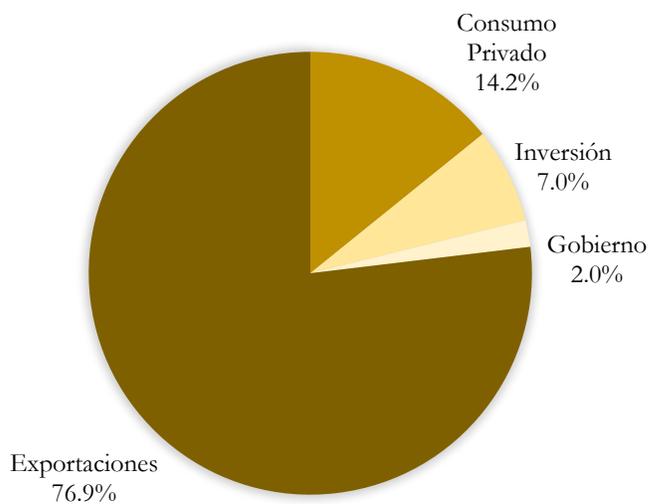


Figura 11.B

Emisiones por biomasa y destino final (% de las emisiones por biomasa)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio de Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Nota: EGA incluye electricidad, agua, gas y gestión de desechos; Resto Ss. incluye comunicaciones y servicios de información, servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros, servicios empresariales y personales y administración pública.

De los 13,4 Mt CO₂ eq emitidos por la industria de la celulosa, 12,1 Mt fueron emanados por la quema de biomasa y sus derivados. Si se eliminan estas emisiones, la huella de carbono de la industria manufacturera se reduce en 10,6 Mt CO₂ eq, pasando de 33,9 a 23,4 Mt CO₂ eq. En efecto, puesto que la mayor parte de la producción de celulosa es exportada o absorbida en la misma industria manufacturera, la huella del resto de las actividades no presenta variaciones mayores (figura 11.A). Con este resultado la minería se presenta como la actividad con mayor huella de carbono.

Con respecto a los componentes de la demanda final, debido a que la celulosa tiene como principal destino mercados externos, son las exportaciones las que presentan la mayor variación; la huella de carbono de las exportaciones pasa de 51,2 a 41,9 Mt CO₂ eq, reducción que representa 76,9% del total de CO₂ emitido por quema de biomasa (figura 11.B). Por otro lado, la huella de los hogares se reduce 4,3%, contabilizando 14,2% de las emisiones por biomasa. Finalmente, la inversión y el gobierno también reducen sus huellas en 8,1 y 4,5%, respectivamente.

4.5 Emisiones totales y capturas silvícolas de CO2

Finalmente, incluimos las capturas de CO2 relativas al uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). El sector UTCUTS es el único que absorbe CO2 en Chile, lo que lo convierte en uno de los de mayor importancia dado su potencial mitigador.

En el año 2017, el sector UTCUTS tuvo emisiones netas por -11,7 Mt CO2 eq, el valor con menor impacto de la en los últimos años²² debido a que el 2017 se registró un gran número de incendios, afectando a 570.000 ha de tierras forestales, de cultivo y pastizales. Las capturas de CO2 fueron resultado de tierras forestales y productos de madera recolectada.

Si consideramos al sector UTCUTS, las emisiones netas de CO2 el año 2017 alcanzaron 110,7 Mt CO2 eq una vez que se incluyen las emisiones directas de los hogares. Vale la pena mencionar que el sector UTCUTS capturó 74,7 Mt CO2 el 2016 y 64,0 Mt CO2 en 2018; estas cifras revelan que el valor para el año 2017 fue considerablemente menor al del resto de la serie.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se estima la huella de carbono de las industrias chilenas para el año 2017 siguiendo el enfoque basado en el consumo. Para su cálculo, se utilizó una base de emisiones directas coherente con las clasificaciones de cuentas nacionales, que consideran una canasta amplia de GEI y un COU extendido que diferencia la oferta de electricidad por tipo de combustible. Ambos componentes representan un importante avance respecto de las estimaciones previas, al brindar una descripción más detallada de las relaciones entre emisiones y actividades económicas.

Actualmente, el modelo basado en el consumo ha ganado protagonismo a la hora de determinar el alcance de las políticas de mitigación de emisiones de CO2. Si bien la mayoría de los acuerdos mundiales sobre cambio climático utilizan la contabilidad basada en la producción, incluidos la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto, se ha demostrado que el enfoque I-O tiene ventajas para explicar los mecanismos detrás de las emisiones incorporadas en las actividades económicas y, a su vez, entrega un esquema integrado para estimar el efecto de impuestos al carbono sobre las emisiones, la producción, los precios y la demanda.

Nuestros resultados sitúan a la generación eléctrica en base a carbón como la actividad con mayor nivel de emisiones directas de CO2 (27,4 Mt CO2 eq), seguida por la industria manufacturera (23,2 Mt CO2 eq), la actividad agropecuaria-silvícola-pesca (16,6 Mt CO2 eq) y el transporte (14,7 Mt CO2 eq). Sin embargo, en términos de huella de carbono, las actividades con un mayor nivel de emisiones de CO2 incorporadas son la industria manufacturera (33,9 Mt CO2 eq) y la minería (26,5 Mt CO2 eq), contabilizando 56,7% del total emitido. La huella de carbono en la industria manufacturera proviene principalmente de sus emisiones directas y la de minería de la absorción de las emisiones generadas en la generación eléctrica en base a carbón. Si descontamos las emisiones por biomasa —concentradas en la elaboración de celulosa— la huella de la industria manufacturera cae al segundo lugar y la del resto de las actividades se mantiene relativamente constante.

Respecto de los componentes de la demanda final, las exportaciones capturan 51,2 Mt CO2 eq derivadas mayormente de la minería del cobre y la celulosa. El consumo privado, en cambio, tienen una huella de carbono de 55,5 Mt CO2 eq, donde 39,8 Mt CO2 eq provienen del consumo de productos nacionales y 15,7 Mt CO2 eq de emisiones directas por quema de leña y consumo de combustibles derivados del petróleo. Por otro lado, la huella de carbono de los productos importados alcanzó 44,6 Mt CO2 eq, de las cuales 63,1% son absorbidas por las actividades económicas y 36,9% van directamente a demanda final. Por último, estimaciones basadas en el modelo

²² Ver (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

I-O dan cuenta de que un impuesto de 5USD por tonelada de CO2 incorporada en la producción²³, reduce las emisiones totales en 2,9%.²⁴

La estimación de un vector de emisiones directas consistente con las actividades económicas de cuentas nacionales y su publicación anual por parte del Banco junto con la matriz de insumo-producto extendida, permitirá a los usuarios de estas estadísticas actualizar la estimación de la huella de carbono, realizar análisis de reducción de emisiones por sector económico y evaluar proyectos desde esta perspectiva. A futuro, esta metodología permitirá incluir los esfuerzos por parte de las empresas de neutralizar su huella de carbono mediante la incorporación de las absorciones de carbono en el vector de emisiones.

Referencias

- Barros, M. V., Piekarski, C. M., & De Francisco, A. C. (2018). Carbon footprint of electricity generation in Brazil: An analysis of the 2016–2026 period. *Energies*, *11*(6), 1412.
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Application of the structural decomposition analysis to assess the indirect energy consumption and air emission changes related to Italian households consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(2), 1135-1145.
- Cohen, C., Lenzen, M., & Schaeffer, R. (2005). Energy requirements of households in Brazil. *Energy Policy*, *33*(4), 555-562.
- Comisión Chilena del Cobre. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero directos e indirectos en la minería del cobre al año 2019*.
- Espinosa, C., & Fornero, J. (2014). Welfare analysis of an optimal carbon tax in Chile. *Economic Analysis Review*, *29*(2), 75-112.
- Fischedick, M., Roy, J., Acquaye, A., Allwood, J., Ceron, J., Geng, Y., & Tanaka, K. (2014). Industry. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Gallardo, Á., & Mardones, C. (2013). Environmentally extended social accounting matrix for Chile. *Environment, development and sustainability*, *15*(4), 1099-1127.
- Girod, B., van Vuuren, D. P., & Hertwich, E. G. (2014). Climate policy through changing consumption choices: Options and obstacles for reducing greenhouse gas emissions. *Global Environmental Change*, *25*, 5-15.
- Guan, D., Lin, J., Davis, S. J., Pan, D., He, K., Wang, C., Zhang, Q. (2014). Reply to Lopez et al.: Consumption-based accounting helps mitigate global air pollution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(26), E2631-E2631.
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology*, *43*(16), 6414-6420.
- Jakob, M., Steckel, J. C., & Edenhofer, O. (2014). Consumption-versus production-based emission policies. *Annual Review of Resource Economics*, *6*(1), 297-318.

²³ En el año 2017, el impuesto a las emisiones directas de CO2 en Chile era aproximadamente 5USD por tonelada de CO2 para fuentes como calderas o turbinas con una potencia térmica mayor o igual a 50 megavatios térmicos.

²⁴ El ejercicio del efecto de un impuesto al CO2 incorporado en la producción se presenta en el Apéndice C.

- Kanemoto, K., Lenzen, M., Peters, G. P., Moran, D. D., & Geschke, A. (2011). Frameworks for Comparing Emissions Associated with Production, Consumption and International Trade. *Environmental Science & Technology*, 46, 172-179.
- Kitzes, J. (2013). An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis. *Resources*, 2, 489-503.
- Lenzen, M. (2001). A Generalized Input-Output Multiplier Calculus for Australia. *Economic Systems Research*, 13(1), 65-92.
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, 105-125.
- López, R. E., Accorsi, S., & Sturla, G. (2016). Análisis sectorial de la huella de carbono para la economía chilena: un enfoque basado en la matriz insumo-producto. *Serie de Documentos de Trabajo FEN, Universidad de Chile, STD 431*.
- Mardóñez, C., & Muñoz, T. (2017). Impuesto al CO2 en el sector eléctrico Chileno: efectividad y efectos macroeconómicos. *Economía chilena*, 20(1).
- Mi, Z., Zhang, Y., Guan, D., Shan, Y., Liu, Z., Cong, R., Wei, Y.-M. (2016). Consumption-based emission accounting for Chinese cities. *Applied Energy*, 184, 1073-1081.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre el Cambio Climático*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES PROVENIENTES DE FUENTES PUNTUALES, RETC*. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Cuarto informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático*.
- Minx, J. C., & al., e. (2009). Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: An Overview of Applications. *Economic Systems Research*, 21(3), 187-216.
- Park, H.-C., & Heo, E. (2007). The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000 -An input-output analysis. *Energy Policy*, 35(5), 2839-2851.
- Peters, G. P. (2008). From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological economics*, 65(1), 13-23.
- Peters, G. P., & Hertwich, E. G. (2008). CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental science & technology*, 42(5), 1401-1407.
- Peters, G. P., & Hertwich, E. G. (2008). Post-Kyoto greenhouse gas inventories: production versus consumption. *Climatic Change*, 86(1), 51-66.
- Steininger, K., Lininger, C., Droege, S., Roser, D., Tomlinson, L., & Meyer, L. (2014). Justice and cost effectiveness of consumption-based versus production-based approaches in the case of unilateral climate policies. *Global Environmental Change*, 24, 75-87.
- Su, B., & Ang, B. (2013). Input-output analysis of CO2 emissions embodied in trade: competitive versus non-competitive imports. *Energy Policy*, 56, 83-87.
- Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2008). Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological economics*, 66(2-3), 379-391.

- Wiedmann, T. (2009). A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*, 69(2), 211-222.
- Wood, R., & Dey, C. J. (2009). Australia's Carbon Footprint. *Economic Systems Research*, 21(3), 243-266.
- Zhang, H., Hewings, G. J., & Zheng, X. (2019). The effects of carbon taxation in China: An analysis based on energy input-output model in hybrid units. *Energy Policy*, 128, 223-234.
- Zheng, H., Fang, Q., Wang, C., Wang, H., & Ren, R. (2017). China's Carbon Footprint Based on Input-Output Table Series: 1992–2020. *Sustainability*, 9(3), 387.

Apéndices

A. Vector de emisiones directas e INGEI

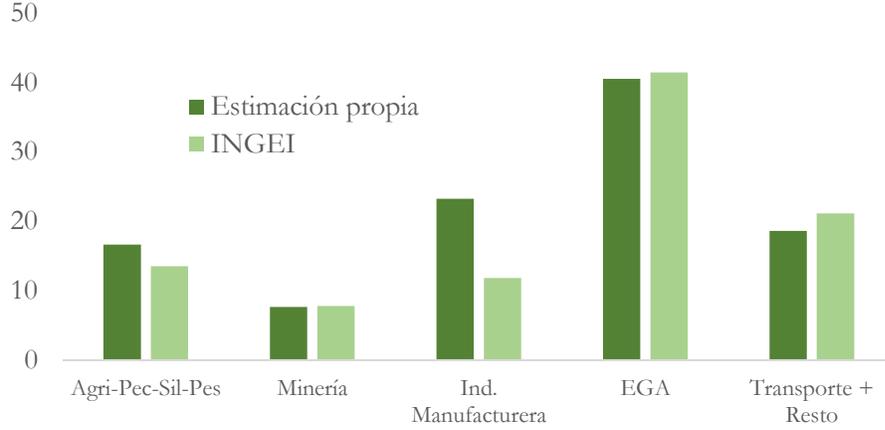
Como se mencionó anteriormente, el vector de emisiones directas estimado en el presente estudio se basa en diversas fuentes de información pública. Las principales fuentes corresponden al RETC y el INGEI del MMA. El primero registra las fuentes puntuales en las emisiones de CO₂, cuyos datos se publican a nivel de establecimiento, y el segundo dispone de una metodología a nivel de actividad económica y su foco es estimar las emisiones de CO₂ a nivel nacional.

En el gráfico A1 se presentan los resultados para el vector de emisiones directas estimadas en este documento y su comparación con el INGEI, por actividad económica. Las principales diferencias se observan en las siguientes actividades económicas:

- En las actividades Agropecuario, silvícola y pesca (agri-pec-sil-pes) se deben principalmente a las emisiones por consumo de combustibles derivados del petróleo por parte del transporte fuera de ruta, incluidas en este estudio.
- En la Industria manufacturera se atribuyen principalmente a las emisiones por generación eléctrica en base a biomasa, las cuales no están incluidas en el INGEI.
- En Transporte, construcción y resto de servicios corresponden a diferencias metodológicas en la medición de estas actividades. En este estudio se estimaron las emisiones en base al consumo de combustible registradas en las cuentas nacionales.²⁵

²⁵ Para mayor información sobre INGEI, ver https://unfccc.int/sites/default/files/resource/7305681_Chile-BUR4-1-2020_IIN_CL.pdf.

Gráfico A1
Diferencias en emisiones directas
(Mt CO2 eq)



Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco.

B. Huella de carbono importada

El cálculo de las emisiones incorporadas en los bienes y servicios importados se realiza de la misma forma anterior. Acorde a (Lenzen, 2001) y (Wood & Dey, 2009), la huella de carbono de las importaciones (E_M^e) pueden calcularse acorde a:

$$E_M^e = \underbrace{e_M^d (I - A - A_M)^{-1} A_M (I - A)^{-1} y}_{\text{Consumo intermedio}} + \underbrace{e_M^d (I - A - A_M)^{-1} y_M}_{\text{Demanda final}}, \quad (5)$$

donde A_M es la matriz de coeficientes directos para las importaciones, y_M es el vector de demanda final por importaciones y e_M^d es el vector de emisiones directas de las importaciones. La ecuación (5) divide la huella importada en dos componentes: la huella de los productos utilizados como insumos en la producción nacional y la de los productos con destino demanda final. Si bien e_M^d no es directamente observable, si las tecnologías de producción utilizadas entre países son similares, éste puede aproximarse a $e_M^d \approx e^d$.²⁶

Por ejemplo, respecto de la huella de las exportaciones, al contabilizar la huella importada, ésta viene dada por:

$$E_X^e = \underbrace{e^d (I - A)^{-1} y_X}_{\text{Nacional}} + \underbrace{e_M^d (I - A - A_M)^{-1} A_M (I - A)^{-1} y_X}_{\text{Consumo intermedio importado}} + \underbrace{e_M^d (I - A - A_M)^{-1} y_{M,X}}_{\text{Reexportaciones}}$$

$y_{M,X}$ es el componente importado de las exportaciones. El primer componente del lado derecho de la ecuación es la huella de carbono nacional; el segundo es la huella de los productos importados utilizados como insumo en la producción de bienes o servicios exportados; el tercer componente da cuenta de la huella de bienes y servicios importados que son luego exportados directamente (reexportaciones).

²⁶ Este supuesto es también adoptado por (Wood & Dey, 2009). Ver también (Kanemoto, Lenzen, Peters, Moran, & Geschke, 2011) y (Su & Ang, 2013) para aplicaciones del modelo I-O extendido al comercio internacional.

C. Impuestos a las emisiones de CO2 incorporadas en el modelo insumo-producto

El modelo insumo-producto permite calcular el impacto de un impuesto a la huella de carbono en las emisiones de CO2 totales y sectoriales. En este apartado simulamos el efecto de un impuesto a las emisiones de CO2 incorporadas basándonos en (Zhang, Hewings, & Zheng, 2019).

Supongamos que la autoridad económica fija un impuesto de φ CL\$ por Mt de CO2 eq emitido en la producción de bienes y servicios. Utilizando los resultados expuestos anteriormente, podemos calcular el vector de intensidad del impuesto a la huella de carbono ($\boldsymbol{\tau}$) como:

$$\boldsymbol{\tau} = \varphi \mathbf{e}' \hat{\mathbf{q}}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}.$$

En la ecuación anterior, $\mathbf{e}' \hat{\mathbf{q}}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ entrega el nivel de emisiones incorporadas en la producción de una unidad de valor para cada actividad económica. De esta forma, $\boldsymbol{\tau} \mathbf{y}$ entrega los impuestos pagados por cada actividad económica.

Antes de la aplicación del impuesto al CO2, los precios vienen dados por $\mathbf{p} = \mathbf{L}' \mathbf{v}$, donde \mathbf{v} es el valor agregado por unidad de valor producido. Una vez aplicados los impuestos, el nuevo nivel de precios es $\mathbf{p}^* = \mathbf{L}' (\mathbf{v} + \boldsymbol{\tau})$.

Si asumimos que antes y después de impuestos el valor de los insumos se mantiene constante, entonces también lo hará el valor producido. Por lo tanto, la producción después de impuestos puede calcularse como:

$$q_i^* = \frac{p_i}{p_i^*} q_i, \quad \forall i \in \mathcal{N}$$

Simulamos impuestos de 5USD, 10USD y 30USD por tonelada de CO2 incorporada en la producción, acorde con (Mardónez & Muñoz, 2017). En este ejercicio no se contabilizan las emisiones por biomasa. En la tabla C1 se muestran nuestros resultados.

Acorde al modelo basado en el consumo, un impuesto de 5USD a las emisiones incorporadas de CO2 reduce las emisiones totales en 2,95%. Nuestros resultados arrojan una reducción de las emisiones totales mayor que en (Mardónez & Muñoz, 2017) principalmente porque en este último el impuesto se aplica solamente al sector eléctrico. Adicionalmente, en el presente estudio la medición de GEI es más amplia y se utilizó un COU que diferencia la oferta de generación eléctrica por tipo de combustible.

Tabla C1
Efecto de un impuesto al CO2 incorporado en el total emitido*
 (como % del total emitido en 2017)

	5USD		10USD		30USD	
	APV (2021)	MM (2017)	APV (2021)	MM (2017)	APV (2021)	MM (2017)
Reducción en emisiones	2,95	1,32	5,61	2,59	14,24	7,30

Fuente: Elaboración propia en base a cifras del RETC e INGEI del Ministerio del Medio Ambiente, CCNN del Banco Central de Chile y Cochilco. Nota: Nuestros resultados aparecen como APV (2021) y los de (Mardónez & Muñoz, 2017), como MM (2017).

* En MM (2017) el impuesto se aplica sólo al sector eléctrico.

**Estudios Económicos Estadísticos
Banco Central de Chile**

**Studies in Economic Statistics
Central Bank of Chile**

NÚMEROS ANTERIORES

PAST ISSUES

Los Estudios Económicos Estadísticos en versión PDF pueden consultarse en la página en Internet del Banco Central www.bcentral.cl . El precio de la copia impresa es de \$500 dentro de Chile y US\$12 al extranjero. Las solicitudes se pueden hacer por fax al: +56 2 26702231 o por correo electrónico a: bcch@bcentral.cl.

Studies in Economic Statistics in PDF format can be downloaded free of charge from the website www.bcentral.cl . Separate printed versions can be ordered at a price of Ch\$500, or US\$12 from overseas. Orders can be placed by fax: +56 2 26702231 or email: bcch@bcentral.cl.

EEE – 134 **Julio 2020**
External Debt Characterization of Non-Banking Companies in Chile
Jorge Fernández B., Fernando Pino M.,
Francisco Vásquez L.

EEE – 133 **Junio 2020**
Mercado de derivados sobre tasas de interés en Chile: Comparación internacional y mercado de Swap Promedio Cámara
Nicole Delpiano, José Miguel Villena

EEE – 132 **Mayo 2020**
Mercado Cambiario Chileno, una comparación internacional: 1998 a 2019
José Miguel Villena y Alexander Hynes

EEE – 131 **Abril 2020**
Revisiones en cuentas nacionales trimestrales Chile 2006-2019
Danae Scherman

EEE – 130 **Octubre 2019**
Un Nuevo Indicador de Endeudamiento de Empresas Chilenas Utilizando Registros Administrativos de Deuda y Actividad
Jorge Fernández y Francisco Vásquez

EEE – 129 **Julio 2019**
Índice de Avisos Laborales de Internet
Erika Arraño y Katherine Jara

EEE – 128 **Febrero 2019**
Medidas de Incumplimiento de Empresas Chilenas Basadas en Datos Administrativos
Jorge Fernández y Francisco Vasquez

EEE – 127 **Febrero 2019**
Assessing Firm Heterogeneity within Industries for the Chilean Economy
Diego Vivanco

EEE – 126 **Septiembre 2018**
Evolución de los Medios de Pago en Chile y su Incidencia en el Comportamiento de los Componentes de M1
Erika Arraño y Juan Pablo Cova

EEE – 125 **Junio 2018**
Evolución de los Medios de Pago en Chile y su Incidencia en el Comportamiento de los Componentes de M1
Erika Arraño y Juan Pablo Cova

EEE – 124 **Junio 2018**
Balance del Banco Central de Chile, 1926 a 2015
Pablo Filippi, José Román y José Miguel Villena

EEE – 123 **Junio 2017**
Series Históricas del PIB y Componentes del Gasto, 1986-2013
Felipe Labrin

- EEE – 122** Marzo 2017
Caracterización de las Tasas de Interés de Créditos para la Vivienda
Patricio Hevia y César Vásquez
- EEE – 121** Febrero 2017
Caracterización de la Deuda de Empresas No Bancarias en Chile
Jorge Fernández, Pedro Roje y Francisco Vásquez
- EEE – 120** Febrero 2017
Medición de los Servicios de Capital para la Economía Chilena
Ivette Fernández y Pablo Pinto
- EEE – 119** Febrero 2017
Evolución de la Normativa de Riesgo de Mercado de la Banca Chilena
José Miguel Matus
- EEE – 118** Agosto 2016
Derivados de Tipo de Cambio por Sector Financiero: El Caso de Chile
Paulina Rodríguez y José Miguel Villena
- EEE – 117** Abril 2016
La Economía Chilena en el Período 2003-2014: Un Análisis desde la Perspectiva de las Cuentas Nacionales por Sector Institucional
Claudia Henríquez y Josué Pérez
- EEE – 116** Marzo 2016
Acciones Financieras Prudenciales y Ciclo Crediticio
Erika Arraño, Juan Pablo Cova, Pablo Filippi y Enrique Marshall
- EEE – 115** Enero 2016
Valor Agregado Doméstico y Contenido Importado de las Exportaciones: Evidencia de las Matrices Insumo-Producto de Chile 2008-2012
Sebastián Rébora y Diego Vivanco
- EEE – 113** Julio 2015
Estadísticas de Tasas de Interés del Sistema Bancario
Erika Arraño, Pablo Filippi y César Vasquez
- EEE – 112** Mayo 2015
Tipo de Cambio Real: Revisión Internacional
Erika Arraño y Faruk Miguel
- EEE – 111** Enero 2015
Empalme IPC sin Alimentos ni Energía
Hernán Rubio y Andrés Sansone
- EEE – 110** Enero 2015
Provisiones por Riesgo de Crédito de la Banca Nacional: Análisis de los Cambios Normativos, Período 1975-2014
José Miguel Matus
- EEE – 109** Noviembre 2014
Inversión Extranjera Directa en Chile: Mecanismos de Ingreso y Compilación para la Balanza de Pagos
Juan Eduardo Chackiel y Valeria Orellana
- EEE – 108** Septiembre 2014
Demografía de Empresas en Chile
Gonzalo Suazo y Josué Pérez
- EEE – 107** Junio 2014
Índice de Precios de Viviendas en Chile: Metodología y Resultados
División de Estadísticas y División de Política Financiera

