

# Responsabilidad ambiental regional y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al comercio interregional en Chile

## Regional environmental responsibility and CO<sub>2</sub> emissions associated with interregional trade in Chile

Felipe Acum Boassi<sup>1</sup> , Marcelo Lufin Varas<sup>2</sup>  y René Reyes Irigoyen<sup>3</sup> 

### RESUMEN

Las emisiones de CO<sub>2</sub> están estrechamente entrelazadas con la actividad económica, por ello, la cuantificación y el seguimiento de los flujos de carbono entre regiones es fundamental para la gestión ambiental bajo criterios equitativos de justicia ambiental territorial. El objetivo de este trabajo es evaluar para las regiones de Chile el grado de responsabilidad ambiental derivada de las emisiones originadas por quema de combustible fósil líquido, con base en un modelo insumo-producto multirregional extendido ambientalmente. Lo cual, permite evaluar el grado de responsabilidad regional desde tres perspectivas de justicia ambiental, esto es, la responsabilidad del productor, del consumidor y del valor agregado. Los resultados evidencian un patrón centro-periferia de emisiones, en que el centro Santiago concentra actividades terciarias vinculadas al comercio y los servicios, que son limpias desde la perspectiva del consumo y de la producción, pero que desde la perspectiva del valor agregado generan los mayores volúmenes de emisiones. Mientras que regiones de la periferia especializadas en actividades extractivas e industriales intensivas en emisiones, benefician en términos de consumo al centro del país y al resto del mundo a través de exportaciones. Los resultados favorecerán la discusión en torno a la equidad de la justicia ambiental regional y sobre la eficiencia de la política de mitigación de emisiones nacional.

**Palabras clave:** Emisiones de carbono, responsabilidad ambiental, emisiones interregionales, modelo insumo-producto multirregional.

### ABSTRACT

CO<sub>2</sub> emissions are closely intertwined with economic activity, therefore, the quantification and monitoring of carbon flows between regions is essential for environmental management under equitable criteria of territorial environmental justice. The objective of this work is to evaluate for the regions of Chile the degree of environmental responsibility derived from the emissions originated by burning liquid fossil fuel, based on an environmentally extended multi-regional input-output model. This makes it possible to evaluate the degree of regional responsibility from three perspectives of environmental justice, that is, the responsibility of the producer, the consumer and the added value. The results show a center-periphery pattern of emissions, in which the Santiago center concentrates tertiary activities related to commerce and services, which are clean from the

<sup>1</sup> Instituto de Economía Aplicada Regional, Universidad Católica del Norte. Correo electrónico: felipeacum@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Economía, Universidad Católica del Norte. Correo electrónico: mlufin@ucn.cl

<sup>3</sup> Departamento de Administración y Economía, Universidad de Los Lagos. Correo electrónico: rreyes@ulagos.cl

perspective of consumption and production, but which from the perspective of added value generate the largest volumes of emissions. While peripheral regions specialized in emission-intensive extractive and industrial activities, benefit in terms of consumption the center of the country and the rest of the world through exports. The results will favor the discussion on the equity of regional environmental justice and on the efficiency of the national emissions mitigation policy.

**Keywords:** Carbon emissions, environmental responsibility, interregional emissions, multi-regional input-output model.

Chile se encuentra suscrito al acuerdo de la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Dentro del cual, los países miembros han acordado notificar anualmente sus inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) originados por la actividad productiva dentro de sus límites territoriales (United Nations, 2015). Este enfoque de inventario basado en la producción no considera las transferencias de emisiones entre territorios, siendo esto una limitación para asegurar una justicia ambiental equitativa, en lo referido a responsabilidad, vulnerabilidad y mitigación de los efectos negativos ambientales (Anguelovski y Roberts, 2011; Schlosberg, 2013).

Para superar las limitaciones de aplicación de justicia ambiental territorial bajo el enfoque de inventario de emisiones basado en la producción (Piñero *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 2012; Lenzen y Murray, 2010). Investigadores han propuesto enfoques alternativos basados en el consumo y en la generación de valor agregado. En el inventario del consumo la distribución de responsabilidad ambiental se asigna territorialmente de acuerdo con el nivel de emisiones que generan los consumidores de bienes finales (generalmente denominada huella de carbono) (Duus-Otterström y Hjorthen, 2018; Spaiser *et al.*, 2018). Mientras que, en el enfoque de inventario basado en el valor agregado, se la responsabilidad ambiental territorial se distribuye con base en la generación de ingresos (salarios, retornos del capital, impuestos estatales, etc.) de los agentes que ofertan y se benefician de los factores de primarios de producción (familias, empresas y estado) (Piñero *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 2012).

Considerar estos tres enfoques de asignación de responsabilidad ambiental, permite ampliar el marco normativo de justicia ambiental para una política de reducción de emisiones de carbono. Puesto que suministra una mayor variedad de mecanismos de mitigación de emisiones bajo un marco de responsabilidad ambiental compartida. Posibilitando a territorios con menor poder político y económico, que son saturados ambientalmente por una producción intensiva en emisiones, transferir parte de la responsabilidad ambiental hacia los territorios que se benefician en términos de consumo y de valor agregado (Piñero *et al.*, 2018; Barton *et al.*, 2008).

En Chile, el plan nacional de mitigación de GEI (Ministerio del Medio Ambiente, 2017), ha tomado acciones para cerrar brechas de centralismo institucional a escala sectorial y regional. Debido a que Chile se caracteriza por un centralismo institucional, político y económico en torno a la región Metropolitana de Santiago (Aroca y Atienza, 2016). Sin embargo, queda en deuda en identificar mecanismos que aseguren la justicia ambiental entre regiones, referida un intercambio más justo de emisiones entre territorios (Schlosberg, 2013; Farber, 2011; Harvey, 1996). Este vacío en la justicia ambiental regional es debido a que el plan nacional de mitigación de emisiones, replica el concepto de "territorio" tal como es concebido por la CMNUCC y ratificado en el acuerdo

de Paris 2015 (United Nations, 2015). En que se considera a los territorios como contenedores aislados e independientes. Restringiendo las acciones de mitigación de emisiones a una dimensión netamente productiva.

Por lo que, el objetivo de este trabajo es evaluar el grado de responsabilidad ambiental de las regiones de Chile que es derivada por las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por quema de combustible fósil líquido, bajo tres enfoques de responsabilidad ambiental, esto es, la responsabilidad del productor, del consumidor y del valor agregado. Lo cual, aportará más información a los estudios sobre emisiones realizados anteriormente en el país. Por cuanto, se amplía el marco de análisis de justicia ambiental anteriormente limitado a la producción, hacia el enfoque del consumo y del valor agregado. Incluyendo además el análisis de responsabilidad ambiental de las emisiones transferidas interregionalmente.

La evaluación se realiza con base en un modelo insumo-producto multirregional (MRIO) extendido ambientalmente. El cual, permite contabilizar inventarios regionales de emisiones y también describir la dinámica de cómo estas se movilizan interregionalmente por medio del comercio de bienes y servicios (Chen *et al.*, 2019; Marques *et al.*, 2012; Lenzen y Murray, 2010). Esto permitirá identificar sectores productivos regionales que deben ser considerados prioritarios por una política de mitigación de emisiones.

En Chile, evaluaciones ambientales de emisiones de CO<sub>2</sub> con base en el modelo insumo-producto a escala nacional, destacan los trabajos de Mardones y Baeza (2018), Cansino *et al.* (2018), Mardones y Muñoz (2017) y O’Ryan *et al.* (2003), entre otros. Sin embargo, no permiten evaluar la forma en que la responsabilidad ambiental se distribuye a nivel regional, en un país que presenta uno de los mayores niveles de concentración territorial (Aroca y Atienza, 2016). A escala regional, se destacan los trabajos de Mardones y Gallardo (2012) y de Mardones y Saavedra (2011), entre otros. Sin embargo, estos se limitan a un análisis uniregional, que no permite conocer cuáles otras regiones son beneficiadas en consumo e ingresos por las emisiones generadas por la producción local.

Finalmente, dadas las limitaciones de información existentes, la evaluación se limita al inventario de emisiones originadas por quema de combustible fósil líquido en el año 2013. Por otra parte, la MRIO para el año 2013 de las regiones del país, se obtiene utilizando métodos indirectos de regionalización (Kronenberg, 2009; Szabó, 2015; Boero *et al.*, 2017). Recientemente, Haddad *et al.* (2018) estiman también una matriz MRIO para Chile 2014 a través de métodos indirectos, lo cual, indica que estimaciones de este tipo están siendo cada vez más utilizadas para análisis regional (Boero *et al.*, 2017).

## Material y Métodos

La contabilización de emisiones se realiza con base en un modelo MRIO extendido ambientalmente presentado en la Figura N°1. Este involucra una tabla que incluye una serie de filas y columnas de datos que cuantifican los flujos monetarios de productos intermedios y finales dentro y entre diferentes áreas geográficas. La extensión ambiental registra un vector adicional de información de unidades de CO<sub>2</sub>, la cuales, vinculadas a las actividades económicas permiten

describir la presión que ejercen estas actividades sobre el medioambiente. Por lo cual, es un modelo práctico para el análisis de interacciones e interdependencias ambientales territoriales, donde las emisiones ambientales coexisten entre territorios -por medio de las relaciones directas e indirectas económicas- a escala nacional y regional (Wiebe *et al.*, 2019). En consecuencia, la incorporación de flujos interregionales de emisiones hace reconsiderar la forma en que se asigna la responsabilidad ambiental a cada territorio. Debido a que el grado de responsabilidad dependerá en la forma en que se asignen las emisiones asociadas a los productos y servicios importados y exportados entre regiones y con el resto del mundo (Guo *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2019).

**Figura N°1.**

Modelo insumo-producto multirregional extendido ambientalmente.

	Intermediate demand			National Final Demand			Resto del Mundo	Total Output
	Región j	...	Región r	Región j	...	Región r		
Región i	$Z^{ij}$	...	$Z^{ir}$	$f^{ji}$	...	$f^{ir}$	$f^{iw}$	$x^i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Región r	$Z^{rj}$	...	$Z^{rr}$	$f^{rj}$	...	$f^{rr}$	$f^{rw}$	$x^r$
Resto del Mundo	$m^{wj}$	...	$m^{wr}$					
Valor Agregado	$Y^j$	...	$Y^{rr}$					
<b>Total Output</b>	$x^j$	...	$x^{rr}$					
<b>CO<sub>2</sub> (ton)</b>	$E^j$	...	$E^r$					

\* *i* es la región de origen, *j* es la región de destino con (*i, j* = 1, ... *r*), y *w* es el resto del mundo.

Fuente: Elaboración propia.

### Responsabilidad del productor y del consumidor

Las aplicaciones prácticas del análisis insumo-producto derivan del sistema abierto y estático del modelo de demanda de Leontief (1953), presentado en la Figura N°1. De donde, se sigue que la suma por filas de la demanda intermedia  $ZZ$ , más la demanda final  $ff$ , representan la producción  $xx$  de las  $kk$  actividades,

$$x = Zi + f \tag{1}$$

A partir de la ecuación 1, se hallan los coeficientes técnicos de producción  $AA$ ,

$$A = Z\hat{x}^{-1} \tag{2}$$

Donde,  $\hat{x}^{-1} \hat{x}^{-1}$  es la inversa del vector de producción de las  $kk$  actividades que, para cualquier matriz, el circunflejo " $\hat{x}\hat{x}$ " indica en adelante que se trata de una matriz diagonalizada.

En consecuencia, se alcanza la siguiente ecuación,

$$x = Ax + f \tag{3}$$

Y, la solución del sistema se encuentra dada por,

$$x = (I - A)^{-1}f \quad ; \text{con } (I - A)^{-1} = L \quad (4)$$

Donde,  $LL$  es la matriz de requerimientos totales, que por columnas muestra la producción requerida directa e indirectamente por las  $kk$  actividades regionales para satisfacer una unidad de demanda final.

La extensión ambiental del modelo MRIO, se realiza transformando la matriz de transacciones de bienes intermedios desde unidades monetarias a unidades de carbono, por medio, de una matriz de transformación de intensidad de emisiones  $\mu\mu$ , que mide la cantidad de unidades de CO<sub>2</sub>e por unidad de producción.

Por lo tanto, el modelo MRIO ambiental de demanda de Leontief es,

$$C = \hat{\mu}(L)\hat{f} \quad (5)$$

Donde,  $CC$  es la matriz de emisiones ambientales de demanda.

Con base en el modelo MRIO ambiental de demanda, se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub>e basadas en la responsabilidad del productor, la cuales, se calculan como la suma por filas de la matriz de emisiones  $CC$  del modelo de demanda de Leontief de la ecuación (5). Este enfoque asigna la responsabilidad de las emisiones, al territorio desde dónde las industrias proveen insumos al mercado. Lo anterior implica que regiones altamente orientadas a la exportación hacia el resto del país y del mundo, declaren que no son responsables de las emisiones generadas por una producción de la que no se benefician en términos de consumo. Por ejemplo, una región con una concentración de industrias de refinería de petróleo, cuyos productos abastecen principalmente al resto del mercado nacional o internacional, podría declarar que es responsable solo por una parte de las emisiones derivadas de su producción. Y, el costo ambiental debe ser asumido por la región donde está localizado el beneficiario final de los bienes y servicios (Wiebe y Yamano, 2016).

El enfoque del consumidor asigna territorialmente la responsabilidad ambiental por medio de las emisiones originadas vía demanda final de la misma región, independiente del origen geográfico de la producción. Es decir, incluye la emisión ambiental originada por productos importados desde otras regiones y que son utilizados para producir bienes que satisfacen la demanda de la región (Chandrakumar *et al.*, 2019; Mi *et al.*, 2019). La contabilidad de las emisiones de CO<sub>2</sub>e basadas en este enfoque se calculan como, la suma por columnas de la matriz de emisiones  $CC$  del modelo de demanda de Leontief de la ecuación (5). Este enfoque es apoyado por regiones en que una parte considerable de su producción es exportada a otros territorios (Lenzen y Murray, 2010). Argumentando que un acuerdo justo debería considerar las emisiones generadas por los bienes que no son consumidos en la región, apelando a una responsabilidad ambiental sobre el consumidor, ya que este tiene el poder de decidir a quién comprar.

## Responsabilidad del valor agregado

Este enfoque asigna la responsabilidad ambiental sobre los agentes beneficiarios de los ingresos generados por la oferta de factores primarios de producción del valor agregado (salarios, beneficios y rentas, impuestos, importaciones), independiente del destino geográfico de la producción (Chen *et al.*, 2019; Lenzen y Murray, 2010).

La contabilización de emisiones desde este enfoque se realiza con base en el modelo de oferta de Ghosh (1968), que cuantifica los efectos indirectos originados en la cadena de distribución de productos que son impulsados por la oferta (valor agregado). En conformidad con el sistema abierto de Ghosh, la producción de un sector se halla como la suma de la columna de consumos intermedios,  $ZZ$ , más el valor agregado  $YY$  de las actividades regionales,

$$x' = iZ + Y' \quad (6)$$

Los coeficientes de distribución de insumos  $BB$  se calculan como,

$$B = \hat{x}^{-1}Z \quad (7)$$

De acuerdo con la ecuación (8), se infiere el siguiente sistema de ecuaciones,

$$x' = x'B + Y' \quad (8)$$

Aplicando la misma solución del modelo de Leontief para el modelo de Ghosh, se obtiene,

$$x' = Y'(I - B)^{-1} \quad ; \text{con } (I - B)^{-1} = G \quad (9)$$

Donde,  $GG$  es la matriz de requerimientos totales de Ghosh, y la suma por filas muestra la cantidad de producción generada directa e indirectamente por las  $kk$  actividades regionales por unidad de valor agregado.

Para el modelo MRIO de oferta de extendido ambientalmente de Ghosh, se tiene,

$$D = \hat{Y}'(G)\hat{\mu} \quad (10)$$

Donde,  $DD$  es la matriz de emisiones ambientales de oferta.

La contabilización emisiones de CO<sub>2</sub>e basadas en la responsabilidad del valor agregado se calculan como, la suma por filas de la matriz de emisiones  $DD$  del modelo de oferta de Ghosh de la ecuación (10). En este enfoque de asignación de responsabilidad, el énfasis es puesto sobre la forma en que los proveedores de factores primarios generan sus ingresos. Un ejemplo ilustrativo es la industria de intermediación financiera, la cual, desde los enfoques del productor y del consumidor es considerada una actividad relativamente "limpia". Sin embargo, puede ser un caso de *free raider* de una política ambiental, ya que sus utilidades provienen de retornos del capital por

inversiones en actividades que generan un alto volumen de emisiones (transporte, energía, minería, etc.) (Schucking *et al.*, 2011). Lo anterior, ocurre porque al capital se le atribuye un carácter móvil en el espacio (Rivera y Aroca, 2014), lo cual, dificulta la asignación territorial de la responsabilidad ambiental al territorio dónde se localiza el beneficiario final. Otro ejemplo aplicable es sobre los impuestos de gobierno, donde territorios sacrificados ambientalmente tributan a una misma tasa impositiva que el resto de los territorios de una nación, pero cuya redistribución no considera una compensación por los costos ambientales asociados en las regiones de origen que permiten la recaudación, evidenciando una política impositiva inequitativa.

*Identificación de sectores clave en la generación de emisiones ambientales*

De acuerdo con los métodos clásicos de análisis insumo-producto (Rasmussen, 1956; Hirschman, 1958; Chang y Lahr, 2016), la suma por columna de cada una de las  $kk$  actividades de la matriz  $LL$  permite calcular la capacidad de arrastre de una actividad, esto es, los encadenamientos hacia atrás (BL). En el caso de los encadenamientos hacia adelante (FL) existe controversia en torno a la aplicabilidad del enfoque de demanda de Leontief (Dietzenbacher y van der Linden, 1997; Miller y Blair, 2009). Por lo que, se ha introducido el modelo de Ghosh (1968), donde la variable exógena es el valor agregado, en tanto que los coeficientes son calculados como la suma por filas de la matriz  $GG$ . Esto es,

$$BL = \frac{ni'L}{i'Li} \quad \wedge \quad FL = \frac{nGi}{i'Gi} \tag{11}$$

Donde,  $nn$  es la suma de sectores de las regiones, e  $ii$  es una matriz de operación de suma.

La clasificación de sector clave (Figura N°2) puede ser fácilmente transferido a encadenamientos de emisiones. En este caso, un  $BL > 1BL > 1$  sugiere que el incremento de una unidad monetaria de demanda final producirá un aumento de emisiones por encima del promedio, y un  $FL > 1FL > 1$  sugiere que el incremento de una unidad monetaria de valor agregado generará un aumento de emisiones por encima del promedio. Por lo tanto, un sector puede definirse como clave en generación de emisiones si  $BL > 1BL > 1$  y  $FL > 1FL > 1$  (Chang y Lahr, 2016).

**Figura N°2.**

Clasificación de actividades con base en encadenamientos hacia atrás (FL) y hacia adelante (FL)

FL > 1	Impulsor	Clave
FL < 1	Independiente	Base
	BL < 1	BL > 1

Fuente: Elaboración propia.

**Datos**

La base del modelo MRIO, utiliza los cuadros de oferta y utilización (COU) de Chile a precios básicos de 111 industrias y 181 productos del año 2013, compilados por el Banco Central de Chile (2016), que en este estudio se agregan en 29 productos y 29 industrias, y posteriormente se

regionalizan<sup>4</sup> a 15 regiones. Las importaciones y exportaciones totales al resto del país se calculan como diferencias de equilibrio entre la oferta y de demanda de los COU regionalizados. Las importaciones y exportaciones interregionales se calculan distribuyendo interregionalmente las importaciones al resto del país utilizando el método gravitatorio (Szabó, 2015; Fournier, 2020), utilizando una matriz de distancia caminera entre regiones. Las inconsistencias entre los COU regionales agregados y los COU nacionales, se minimizan utilizando el método de ajuste biproportional RAS (Stone, 1961; Jackson y Murray, 2004). Finalmente, de los COU regionalizados se deriva una MRIO de relaciones de industrias con industrias, bajo el supuesto de estructura de ventas fijas por producto. Esta MRIO se subdivide en 15 regiones vigentes en Chile en el año 2013, desagregadas en 29 actividades productivas (Cuadro N°1).

**Cuadro N°1**  
Código de actividad

Número	Actividad	Número	Actividad
1	Agropecuario	16	Muebles
2	Silvicultura	17	Otras industrias
3	Pesca extractiva y acuicultura	18	Electricidad
4	Minería	19	Gas
5	Extracción de petróleo y gas natural	20	Agua
6	Industria Alimentaria	21	Construcción
7	Industria Textil y Cuero	22	Comercio y hoteles
8	Industria de la Madera	23	Transporte
9	Celulosa	24	Telecomunicaciones
10	Imprenta y edición	25	Servicios financieros
11	Elaboración de combustibles y gas	26	Resto Servicios
12	Industria Química, caucho y plástico	27	Administración pública
13	Industria Minerales no metálicos	28	Educación
14	Industrias hierro y acero	29	Salud
15	Industria metal mecánica		

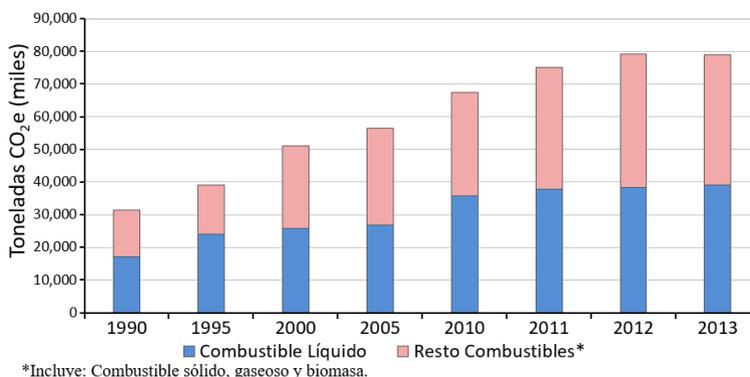
Fuente: Elaboración propia.

La medición de impacto ambiental utiliza el nivel de CO<sub>2</sub>e, que es una medida utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global asociada a cada uno de los GEI (Muñoz y Mardones, 2016). Las emisiones brutas de CO<sub>2</sub>e totales que son originadas por quema de combustible fósil líquido en Chile 2013, se obtienen del Reporte del inventario nacional de GEI de 2018 (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

La Figura N°3, muestra la evolución de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>e por quema de combustible fósil en Chile, que en el año 2013 equivalen a 78,930 kt-CO<sub>2</sub>e, de los cuales, 39,051 kt-CO<sub>2</sub>e corresponde a combustibles líquidos (incluye: petróleo combustible, gasolina, diésel y kerosene).

<sup>4</sup> Supuestos: 1) Se asume en ausencia de antecedentes que señalen lo contrario, que las regiones no presentan diferencias en sus procesos productivos por actividad. Lo anterior, es equivalente a suponer que la razón entre el consumo intermedio y la producción regional no varía. 2) Se asume que el mix de abastecimiento y distribución de productos en el mercado intrarregional es igual al mix de productos hacia las demás regiones.

**Figura N°3**  
Emisiones CO<sub>2</sub>e (kt) por tipo de combustible, serie 1990-2013.



Fuente: Elaboración propia, con base en Reporte de inventario nacional de GEI 2018 del Ministerio del Medio Ambiente.

La contabilización de emisiones de CO<sub>2</sub>e para las 15 regiones y 29 actividades se realiza distribuyendo las emisiones nacionales de CO<sub>2</sub>e con base en las funciones de costos intermedios por actividad. Lo cual, informa el gasto monetario por actividad regional en combustible líquido para la generación de su producción (Corsatea *et al.*, 2019). El precio de mercado promedio por litro de combustible por región para el año 2013, se obtiene del reporte de precios de combustibles de la Comisión Nacional de Energía. Conocido el volumen de combustibles por actividad y región, las emisiones de CO<sub>2</sub>e son calculadas con base en los factores de emisión estimados por el Ministerio de Energía bajo las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de los GEI:

$$\frac{s_k^j}{p^j} = q_k^j \Rightarrow q_k^j * h^n = E_k^j \quad (12)$$

Donde,  $s_k^j s_k^j$  es el gasto monetario por actividad y región,  $p^j p^j$  es el precio promedio de combustible por región,  $q_k^j q_k^j$  es la cantidad de combustible líquido,  $h^n h^n$  es el factor de emisión de CO<sub>2</sub>e de combustible líquido nacional, y  $E_k^j E_k^j$  es la emisión de CO<sub>2</sub>e por actividad regional.

Las emisiones totales de CO<sub>2</sub>e que genera el país como consecuencia de la producción de bienes y servicios pueden dividirse en dos grupos. En emisiones de CO<sub>2</sub>e originadas en la producción intermedia de bienes y servicios, y en emisiones de CO<sub>2</sub>e originadas por bienes destinados a satisfacer la demanda final.

## Resultados

Chile se caracteriza por tener una alta concentración espacial, principalmente en torno a las regiones que son centros demográficos y productivos (Cuadro N°2). Este patrón de desarrollo regional desigual es evidenciado en la alta concentración en torno a la región Metropolitana de Santiago, lo cual, ha sido reforzado factores políticos, económicos y por un marco histórico ins-

titucional extremadamente centralista (Aroca y Atienza, 2016; Barton *et al.*, 2008). Mientras que, el crecimiento urbano y económico de algunas de las otras regiones del país es explicado principalmente por los ingresos originados por actividades extractivas e industriales orientadas en la exportación hacia el resto del mundo (Rehner y Rodríguez-Leiva, 2017).

Esta forma de desarrollo regional desequilibrado ha derivado también en un patrón de generación de emisiones desigual. En que los mayores volúmenes de CO<sub>2</sub>e tienen origen en regiones que son los principales centros demográficos y económicos, estos son, Santiago, Biobío, Valparaíso y Antofagasta (Cuadro N°2).

En este contexto, una política de mitigación de emisiones aplicada a escala nacional ajena a las particularidades regionales puede potencialmente fomentar la inequidad económica y social entre las regiones del país (Farber, 2011). Debido a que no considera en su diseño las vocaciones productivas regionales, los flujos de bienes y servicios dentro y entre regiones, los patrones de consumo, la generación de ingresos, los mecanismos de recaudación fiscal y de redistribución impositiva regional.

#### Cuadro N°2.

Indicadores socioeconómicos y de emisiones de CO<sub>2</sub>e (ton), Chile 2013.

Región	Población (miles)**	PIB*	Emisión Intermedia Nacional	Emisión Intermedia Importada	Emisión Directa Final Total	Emisión Total CO <sub>2</sub> e/ton	PIB per cápita*	Intensidad de CO <sub>2</sub> e (emisión total/PIB)
Arica y Parinacota	231	968.916	154.517	229.092	79.108	462.717	4.194	0,478
Tarapacá	321	3.213.778	25.996	489.537	129.560	645.094	10.017	0,201
Antofagasta	604	13.842.711	1.219.220	2.766.620	352.875	4.338.715	22.917	0,313
Atacama	304	3.736.334	44.127	518.487	155.294	717.908	12.289	0,192
Coquimbo	747	3.990.115	67.326	684.364	211.670	963.360	5.340	0,241
Valparaíso	1.791	11.378.913	2.129.323	449.718	1.950.774	4.529.815	6.355	0,398
Santiago	7.143	57.907.171	6.581.939	5.348.081	4.048.376	15.978.396	8.107	0,276
O'Higgins	902	6.109.178	84.787	845.166	352.974	1.282.927	6.770	0,210
Maule	1.028	4.232.016	239.610	817.316	189.578	1.246.505	4.116	0,295
Biobío	2.087	9.735.381	1.960.545	489.962	2.468.955	4.919.462	4.665	0,505
Araucanía	977	3.314.599	317.027	480.225	244.128	1.041.380	3.392	0,314
Los Ríos	399	1.731.840	104.415	140.526	124.358	369.299	4.344	0,213
Los Lagos	828	3.826.736	194.816	634.462	300.322	1.129.599	4.619	0,295
Aysén	106	727.868	132.396	131.187	143.992	407.575	6.844	0,560
Magallanes	163	1.398.177	468.351	76.400	473.700	1.018.451	8.587	0,728
<b>País</b>	<b>17.311</b>	<b>122.899.954</b>	<b>13.724.395</b>	<b>14.101.144</b>	<b>11.225.665</b>	<b>39.051.204</b>	<b>7.100</b>	<b>0,318</b>

(\*) PIB & PIB per cápita en millones de pesos corrientes. (\*\*) Población con base en INE, proyección 2014.

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones MRIO y de CO<sub>2</sub>e regional.

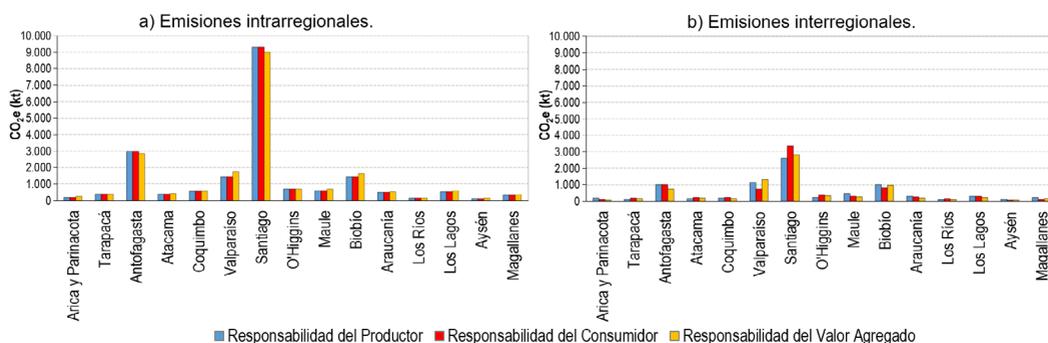
La Figura N°4, muestra que las regiones que mayor volumen de emisiones genera desde los enfoques de inventarios de la producción, consumo y valor agregado, son Santiago, Antofagasta, Valparaíso y Biobío, tanto en su dimensión intrarregional como en los flujos de emisiones transferidos interregionalmente hacia otras regiones.

Sin embargo, estos resultados agregados por región que aparentemente asignan una similar responsabilidad ambiental desde los tres enfoques seleccionados pueden ocultar relaciones de dependencia y funcionalidad ambiental entre regiones perpetuando inequidades territoriales. En que algunas regiones asumen los daños ambientales por externalidades negativas originadas por su especialización en actividades extractivas e industriales intensivas en emisiones, que benefician en términos de consumo a otras regiones del resto del país y del resto del mundo. En un

contexto en que la institucionalidad centralizada del país fomenta la inserción económica exportadora hacia mercados globales con débiles barreras ambientales. Esto último, en parte se debe al temor de una fuga de capitales regionales y a la tercerización de actividades hacia territorios con menores normas regulatorias ambientales (Lenzen y Murray, 2010).

**Figura N°4.**

Emisiones regionales de CO<sub>2</sub>e (kt) por quema de combustible líquido, 2013.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°5 evidencia que no necesariamente las regiones que son más intensivas en emisiones por cada unidad de fabricación (en el modelo de demanda) o por cada unidad de distribución (en el modelo de oferta), son las que mayor volumen de emisiones generan al medioambiente. Esto sugiere que la política de mitigación de Chile no solo debe orientarse a reducir las intensidades de emisiones en los procesos productivos y distributivos de insumos, sino que también debe aspirar a reducir las emisiones en términos absolutos.

Por lo tanto, acciones orientadas sobre los patrones de consumo de las personas, impuestos ambientales sobre la producción y los ingresos empresariales, o el fomento un transporte impulsado por energía eléctrica. No tendrán efectividad si la oferta de la matriz energética primaria de Chile, compuesta principalmente de combustibles fósiles importados desde el resto del mundo (Ministerio de Energía, 2019) no migra hacia una matriz energética basada en energías renovables.

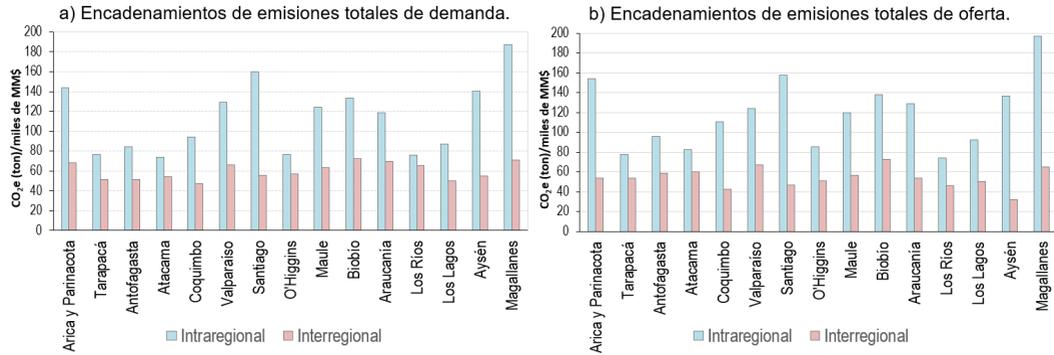
En cuanto a las emisiones originadas en el mercado interregional, estas representan alrededor de un tercio del total intermedio (Figura N°4 y Figura N°5). Por ello, ignorar los efectos interregionales ambientales limitaría la eficiencia de una política ambiental sobre un sector o sectores clave debido a efectos *spillover*.

Los sectores clave identificados que deben ser considerados para la efectividad de una política de mitigación de emisiones. Son aquellos que en conjunto son más sucios en la fabricación de una unidad de producción para satisfacer la demanda y más sucios en la distribución de bienes intensivos en emisiones por a la disponibilidad de factores primarios de producción en su territorio.

La Figura N°6 evidencia que la actividad transporte es la más importante, y gran parte del volumen de emisiones que genera se concentra en Santiago. Esto se debe a que esta actividad tanto en producción como en la distribución de sus productos es intensiva en combustible fósil líquido.

**Figura N°5.**

Encadenamientos de CO<sub>2</sub>e por miles de MM\$ de demanda final (demanda) y CO<sub>2</sub>e por miles de MM\$ de valor agregado (oferta), 2013.



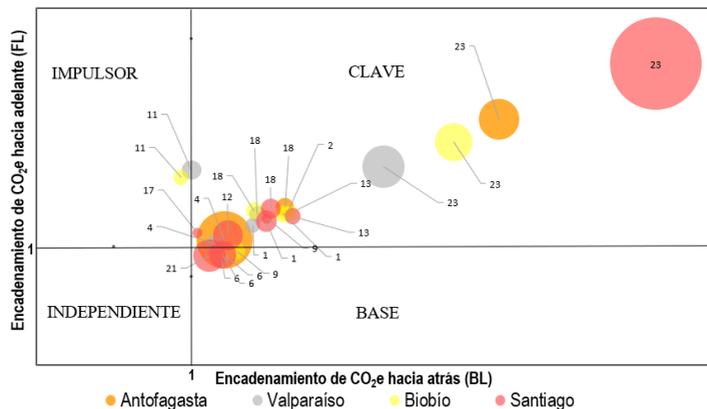
Fuente: Elaboración propia.

Otra actividad clave es Electricidad, que se concentra en los principales núcleos demográficos e industriales, esto es, Santiago, Biobío, Antofagasta y Valparaíso. También son actividades clave la minería en Antofagasta, celulosa en Biobío y la industria química, caucho y plástico en Santiago.

La metodología de sectores clave, aunque identifica los sectores que deben ser considerados estratégicos para la reducción de emisiones; sin embargo, no indica quién o quiénes son los actores de mercado que se benefician y deben asumir los costos de las emisiones generadas por la producción, valor agregado o consumo de bienes fabricados en distintas regiones. Haciendo fundamental aplicar medidas que aseguren una justicia ambiental distribuida equitativamente entre territorios bajo distintos enfoques de asignación de responsabilidad ambiental.

**Figura N°6.**

Clasificación de encadenamientos sectoriales de CO<sub>2</sub>e (t) por miles de MM\$ de demanda final (BL) y miles de MM\$ de valor agregado (FL).



Fuente: Elaboración propia.

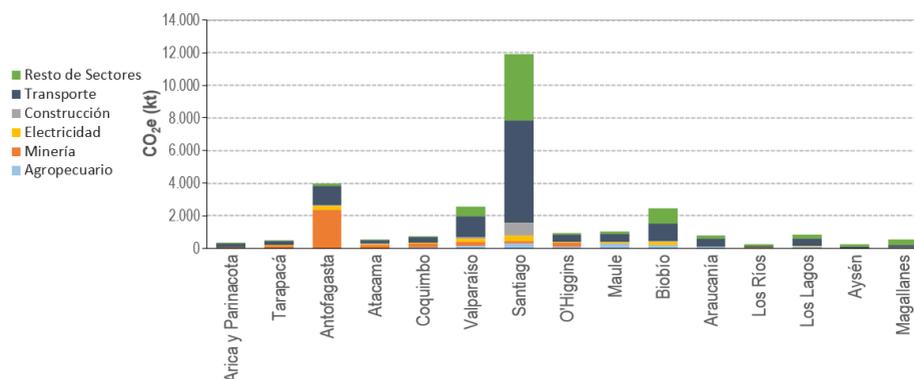
## Responsabilidad del productor

Bajo este enfoque de inventario de emisiones (Figura N°7), se evidencia que las actividades que generan mayor volumen de emisiones son transporte, a través, de casi todas las regiones (excepto Antofagasta), electricidad en los principales centros demográficos e industriales (Santiago, Antofagasta, Valparaíso y Biobío) y construcción en Santiago.

Esto sugiere, la aplicación de acciones de política diferenciadas por región, considerando las vocaciones productivas regionales y el destino de los bienes exportados. Sin embargo, es evidente que cualquier acción orientada sobre la producción (en que una región es responsable por los bienes que produce), el fomento de la eficiencia y sustitución de insumos energéticos, como del uso de maquinarias y procesos impulsados por energía eléctrica, serán poco efectivas, si Chile no migra desde una matriz energética basada en combustibles fósiles hacia una que posea mayor oferta de energías renovables.

**Figura N°7.**

Emisiones sectoriales intermedias totales de CO<sub>2</sub>e (t) bajo la responsabilidad del productor por quema de combustible líquido, 2013.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°8 muestra que las cuatro regiones que mayor volumen de emisiones transfieren hacia otras regiones del país son Santiago, Antofagasta, Biobío y Valparaíso. Sin embargo, se evidencia que el destino principal de gran parte de las emisiones de la producción transferidas interregionalmente está orientada a satisfacer la demanda de Santiago.

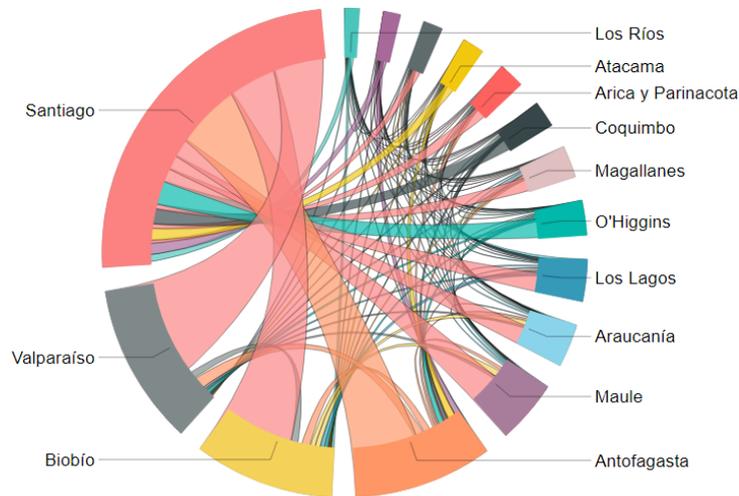
Además, se evidencia que Santiago transfiere un importante volumen de emisiones a otras regiones vinculadas a actividades de servicios (comercio, científico-técnicas y profesionales) que no son intensivas en emisiones. Mientras que las demás regiones transfieren emisiones a Santiago vinculadas a actividades industriales cuyos efectos negativos ambientales quedan en la región de origen.

Esto sugiere una relación funcional ambiental y económica de centro-periferia, donde el centro provee servicios a la periferia, y la periferia provee al centro bienes vinculados a actividades extractivas y de producción industrial. Esto es debido a la estructura centralizada del poder político.

co y económico, que ha perpetuado una identidad de las regiones periféricas como proveedoras de *commodities* (Daher, 2003).

**Figura N°8.**

Flujos interregionales de CO<sub>2</sub>e (t) por combustible fósil líquido, impulsadas por la demanda final (Responsabilidad del productor).



Fuente: Elaboración propia.

### *Responsabilidad del consumidor*

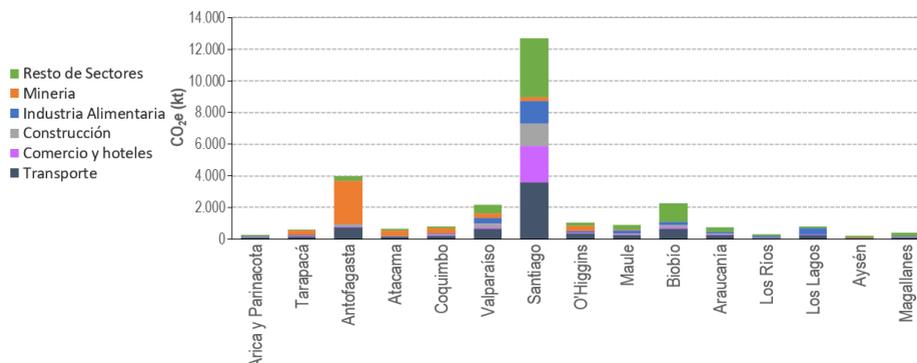
Los resultados de la Figura N°9, evidencian que las regiones que son los mayores centros demográficos e industriales (Santiago, Antofagasta, Biobío y Valparaíso) generan el mayor volumen de emisiones impulsadas por la demanda final.

Este enfoque de responsabilidad del consumo sugiere acciones de mitigación de emisiones diferenciadas por región. Esto se debe principalmente al tipo de bienes finales que son demandados por cada región. En regiones como Santiago y Valparaíso, las actividades productivas que generan mayores emisiones son las vinculadas a satisfacer la demanda final interna (transporte, comercio, industria alimentaria e industria inmobiliaria) debido a su alta concentración demográfica. En estas regiones se sugieren políticas orientadas al fomento de patrones de consumo de bienes bajos en emisiones, y a la descongestión urbana impulsada por incentivos a la localización de las inversiones inmobiliarias en otras regiones.

Por otra parte, iniciativas orientadas sobre el comportamiento del consumidor final como, fomentar estilos de vida bajos en carbono, son limitadas en justicia ambiental individual, por cuanto, no considera las restricciones presupuestarias de las familias, la limitada oferta de bienes bajos en emisiones e igualmente está el riesgo que estos bienes sean de difícil acceso por ser más costosos (Lenzen y Murray, 2010).

**Figura N°9.**

Emisiones sectoriales intermedias totales de CO<sub>2</sub>e (kt) bajo la responsabilidad del consumidor por quema de combustible líquido, 2013.

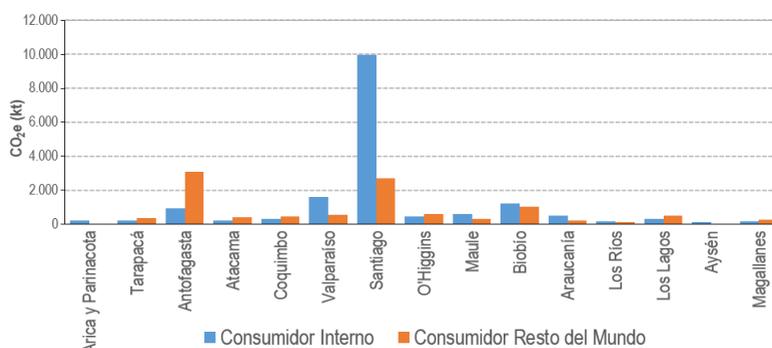


Fuente: Elaboración propia.

Mientras que, en regiones con vocaciones productivas orientadas hacia las exportaciones como, por ejemplo, minería en Antofagasta, celulosa en Biobío o industria alimentaria en Los Lagos (Figura N°9 y Figura N°10). Medidas orientadas sobre los consumidores globales, tienen el riesgo de hacer menos competitivos los mercados regionales en el mercado mundial, pudiendo generar efectos negativos económicos y laborales.

**Figura N°10.**

Emisiones intermedias regionales totales de CO<sub>2</sub>e (kt) por destino del consumo, 2013.

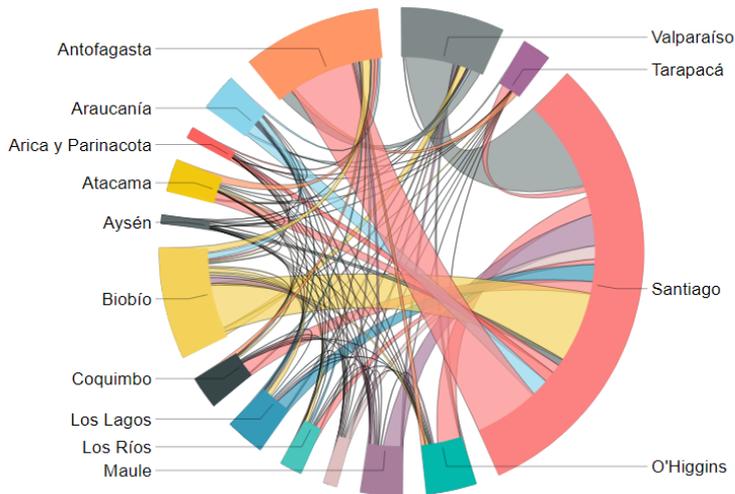


Fuente: Elaboración propia.

Los flujos de emisiones interregionales bajo en el enfoque del consumo (Figura N°11), evidencian que Santiago es el principal importador de emisiones por su demanda final. Estas emisiones que Santiago atrae hacia su territorio son principalmente para satisfacer su demanda interna debido a su excesiva concentración demográfica. Por otra parte, en el consumo de bienes de las demás regiones se evidencia una dependencia de bienes importados desde Santiago vinculados al comercio y servicios (productivamente con bajas emisiones en la región de origen), ya sea para el consumo final regional final o de apoyo a las actividades extractivas e industriales regionales (productivamente altas en emisiones en la región de origen de la periferia).

**Figura N°11.**

Flujos interregionales de CO<sub>2</sub>e (t) por combustible fósil líquido, impulsadas por la demanda final (Responsabilidad del consumidor).



Fuente: Elaboración propia.

### *Responsabilidad del valor agregado*

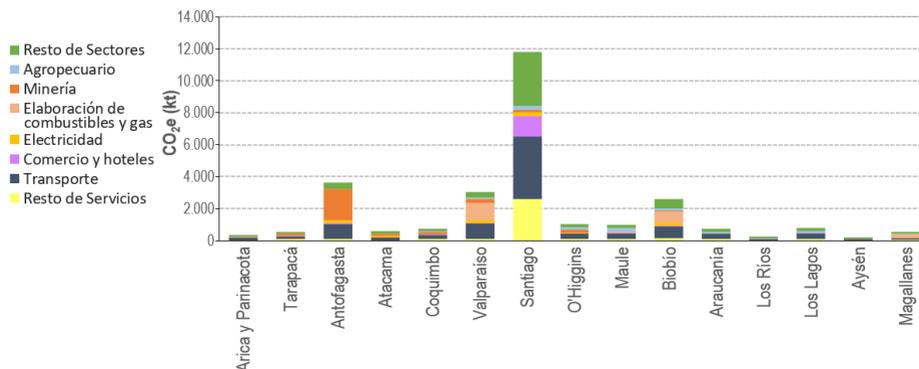
Los resultados (Figura N°12) bajo este enfoque sugieren la aplicación de medidas diferenciadas por región, debido a que estas generan valor agregado de acuerdo con la orientación de sus vocaciones productivas.

En Santiago, a diferencia del discurso que declara que las actividades vinculadas al comercio y a los servicios son limpias productivamente, son unas de las actividades que mayor valor agregado obtienen por las emisiones generadas por la región. Mientras que, en regiones extractivas e industriales, como la minería de exportación en Antofagasta, se sugieren medidas como, por ejemplo, mayores impuestos sobre los retornos del capital y una redistribución impositiva fiscal favorable, con el fin de minimizar los efectos ambientales negativos y promover procesos productivos basados en energías renovables.

En regiones como Valparaíso y Biobío, que concentran gran parte de la industria de elaboración de combustibles, orientada a abastecer en mayor medida a otras regiones. Se sugieren medidas de redistribución impositiva favorable, con el fin de fomentar el desarrollo de otras actividades productivas que compensen los ingresos de valor agregado que ya no generará esta actividad en el largo plazo.

**Figura N°12.**

Emisiones sectoriales intermedias totales de CO<sub>2</sub>e (t) bajo la responsabilidad del valor agregado por quema de combustible líquido, 2013.

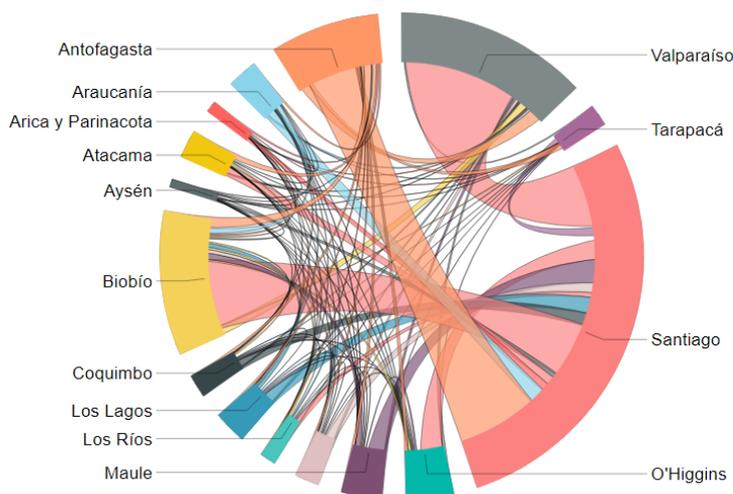


Fuente: Elaboración propia.

Los flujos interregionales (Figura N°13) evidencian que el centro que es Santiago captura valor agregado hacia su territorio por emisiones que se generan en otras regiones, debido a que provee a la periferia servicios vinculados a actividades científico-técnicas, profesionales, de transporte e intermediación financiera. Mientras que el valor agregado de las regiones de la periferia es generado por industrias que generan altos volúmenes de emisiones, donde los efectos negativos ambientales quedan dentro de la región, y cuyos bienes son distribuidos para consumo de Santiago y del resto del mundo.

**Figura N°13.**

Flujos interregionales de CO<sub>2</sub>e (t) por combustible fósil líquido, impulsadas por insumos primarios (Responsabilidad del valor agregado).



Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

El análisis realizado evidencia que el marco institucional histórico de Chile sesgado hacia la promoción de la concentración demográfica y económica en torno a la región Metropolitana de Santiago (Aroca y Atienza, 2016), sumado a la presión que ejerce el poder político y económico centralizado, ha perpetuado una identidad de las regiones de la periferia como proveedoras de *commodities* (Daher, 2003). Por ello, surge el riesgo que la política nacional de mitigación de emisiones se transforme en un mecanismo de inequidad regional, en cuanto, a la localización de los efectos negativos ambientales y a la distribución territorial de los costos económicos y sociales asociados. Esto porque el plan nacional de emisiones no considera el efecto que tienen sobre los territorios los flujos de emisiones interregionales, los cuales, pueden crear un escenario imprevisto de regiones favorecidas y perdedoras (O’Ryan *et al.*, 2003).

Los resultados evidencian una heterogeneidad regional en cuanto al volumen de emisiones generadas por cada región y, en cuanto, a la intensidad regional de CO<sub>2</sub>e por unidad de producción y distribución de bienes. También, se evidencia que la movilidad de emisiones en el espacio interregional no es equitativa, debido a la desigual distribución en el espacio de los niveles de consumo, producción y valor agregado. Lo anterior, implica que para asegurar la equidad regional ambiental es necesaria la implementación de un marco de justicia ambiental que permita una asignación de responsabilidad ambiental compartida regionalmente (Scott, 2019; Piñero *et al.*, 2018; Ministerio del Medio Ambiente, 2017). Considerando a las regiones como nodos interconectados a una red económica y ambiental de alcance nacional y global.

Como señalan Barton *et al.* (2008), el contexto histórico de las periferias basadas en la extracción y exportación ha sido la explotación económica y la marginación ambiental. Los resultados interregionales evidencian que el centro, la región Metropolitana de Santiago es la principal importadora y exportadora de emisiones como consecuencia de la producción, consumo y valor agregado. Sin embargo, los costos ambientales de origen interregional quedan en las regiones de la periferia, cuyas vocaciones productivas son principalmente extractivas e industriales exportadoras e intensivas en emisiones, y asumen el daño ecológico en sus territorios por la producción de bienes que van en beneficio del consumo de Santiago y de los mercados globales. Mientras que las emisiones interregionales de Santiago son generadas por actividades que productivamente son bajas en emisiones, pero cuyos beneficios provienen de actividades de comercio y servicios vinculadas a otras actividades de la periferia intensivas en generación de emisiones.

Esta relación funcional centro-periferia ambiental de Chile, está invisibilizada en el marco actual de justicia ambiental de la política de mitigación de emisiones nacional. Por lo tanto, para asegurar un desarrollo ambiental sostenible y equitativo entre regiones, es necesario un cambio estructural institucional, político y económico, que revierta la tendencia actual de asignación de responsabilidad ambiental. Considerando los patrones de consumo, producción y la forma de generación de ingresos a escala regional, para desvincular progresivamente a la actividad económica de la degradación medioambiental.

Finalmente, es importante destacar que los resultados de este trabajo deben ser considerados en un horizonte de corto plazo, debido a que el análisis considera un periodo estático de comparación entre regiones, no permitiendo evaluar su evolución en el tiempo. En cuanto a la MRIO

estimada para este trabajo con métodos de regionalización indirectos, se valida la coherencia de los resultados comparándola con la MRIO 2014 de Chile estimada por Haddad et al. (2018), no encontrándose diferencias significativas, aun cuando, pertenecen a distintos periodos. Sin embargo, persiste la necesidad de disponer de una MRIO de Chile oficial para la evaluación de políticas y planificación territorial.

Por otra parte, una línea de investigación poco explotada en análisis ambiental con base el modelo MRIO es el análisis interregional del valor agregado, lo cual, permitiría evaluar más eficientemente una política ambiental, ya que reevalúa la importancia de regiones llamadas “regiones de origen”. Permitiendo conocer la trayectoria de los ingresos generados por los factores de producción trabajo y capital, e incluir los efectos ambientales negativos sobre el factor de producción tierra (recursos naturales), asignando costos económicos a los agentes beneficiados por su explotación.

## Conclusión

La contabilidad basada en el productor identifica a las regiones y sectores que generan un gran volumen de emisiones, como transporte, comercio y construcción en Santiago, minería en Antofagasta, y elaboración de combustibles y transporte en Valparaíso y Biobío, lo que implica una política orientada hacia la reducción de insumos energéticos altos en carbono y mejorar la eficiencia energética. Bajo el enfoque contabilidad de emisiones del consumo, en Valparaíso y en Santiago los sectores de transporte, comercio y construcción generan mayores emisiones y se deben aplicar acciones como, por ejemplo, promover estilos de vida bajos en carbono e impuestos al consumo de productos altos en carbono. Por otra parte, en los sectores de regiones exportadoras como, por ejemplo, minería en Antofagasta y celulosa en Biobío, se debe promover la colaboración internacional para la atracción de tecnología a través de un sistema de comercio de emisiones. La contabilidad basada en el valor agregado evidencia que en Santiago los sectores terciarios (actividades inmobiliarias, de ingeniería, científicas y profesionales, transporte, comercio y servicios financieros) son los que tienen mayor impacto en el volumen de emisiones, por lo que, se recomiendan acciones sobre los componentes del valor agregado como, por ejemplo, tasas de impuestos sobre las utilidades del capital orientados hacia una mayor justicia ambiental de los territorios perjudicados, e incentivos financieros para actividades que cambien hacia un comportamiento de distribución de productos bajos en carbono. Esto, con el objetivo de desincentivar que los inversionistas destinen capitales a empresas intensivas en emisiones. En resumen, el componente tecnológico energético, la estructura de producción, consumo y de generación de valor, la concentración industrial y urbana, y el marco institucional todos son factores que afectan la forma en que la transición hacia territorios libres de carbono debe ser abordada en las distintas regiones del país.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los árbitros anónimos de la Revista de Geografía Norte Grande por sus valiosos comentarios y sugerencias que han sido fundamentales para la versión final del artículo.

## Referencias

ANGUELOVSKI, I. & ROBERTS, D. Spatial Justice and Climate Change: Multiscale Impacts and Local Development in Durban, South Africa. En: CARMIN, J. & AGYEMAN, J. *Environmental Inequalities Beyond Borders: Local Perspectives on Global Injustices*. The MIT Press, 2011, p. 19-43.

AROCA, P. & ATIENZA, M. Spatial concentration in Latin America and the role of institutions. *Investigaciones Regionales*, 2016, Vol. 36, p. 233-253.

BANCO CENTRAL DE CHILE. *Cuentas Nacionales de Chile, Compilación de Referencia 2013*. Banco Central de Chile, Santiago, Chile, 2016.

BARTON, J., GWYNNE, R. & MURRAY, W. Transformations in resource peripheries: an analysis of the Chilean experience. *Area*, 2008, Vol. 40(1), p. 24-33.

BOERO, R., EDWARDS, B. & RIVERA, M. Regional input-output tables and trade flows: an integrated and interregional non-survey approach. *Regional Studies*, 2017, Vol. 52(2), p. 225-238

CANSINO, J., SÁNCHEZ-BRAZA, A., & RODRÍGUEZ-ARÉVALO, M. How can Chile move away from a high carbon economy?. *Energy Economics*, 2018, Vol. 69, p. 350-366.

CHANDRAKUMAR, C., MCLAREN, S. J., MALIK, A., RAMILAN, T., & LENZEN, M. Understanding New Zealand's consumption-based greenhouse gas emissions: an application of multi-regional input-output analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2019, Vol. 25, p. 1323-1332.

CHANG, N. & LAHR, M. Changes in China's production-source CO<sub>2</sub> emissions: insights from structural decomposition analysis and linkage analysis. *Economic Systems Research*, 2016, Vol. 28(2), p. 224-242.

CHEN, W., LEI, Y., FENG, K., WU, S., & LI, L. Provincial emission accounting for CO<sub>2</sub> mitigation in China: Insights from production, consumption and income perspectives. *Applied Energy*, 2019, Vol. 255, article 113754.

CORSATEA T., LINDNER S., ARTO, I., ROMÁN, M., RUEDA-CANTUCHE J., VELÁZQUEZ AFONSO A., AMORES A., NEUWAHL F. *World Input-Output Database Environmental Accounts, Update 2000-2016*. European Union, Luxembourg, 2019.

DAHER, A. Regiones-commodities. Crisis y contagio en Chile. *Revista EURE*, 2003, Vol. 29(86), p. 89-108.

DIETZENBACHER, E. & VAN DER LINDEN, J. Sectoral and spatial linkages in the EC production structure. *Journal of Regional Science*, 1997, Vol. 37, p. 235-257.

DUUS-OTTERSTRÖM, G., & HJORTHEN, F. D. Consumption-based emissions accounting: the normative debate. *Environmental Politics*, 2018, Vol. 28(5), p. 866-885.

FARBER, D. Issues of Scale in Climate Governance. En: DRYSEK, J., NORGAARD, R. & SCHLOSBERG, D. *The Oxford Handbook of Climate Change and Society*. Oxford University Press, 2011.

FOURNIER, J. On the accuracy of gravity-RAS approaches used for inter-regional trade estimation: evidence using the 2005 inter-regional input-output table of Japan. *Economic Systems Research*, 2020.

GHOSH, A. *Planning Programming and Input-output Models: Selected Papers on Indian Planning*. Cambridge University Press, 1968.

GUO, Y., CHEN, B., LI, J., YANG, Q., WU, Z., & TANG, X. The evolution of China's provincial shared producer and consumer responsibilities for energy-related mercury emissions. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 245, article 118678.

HADDAD, E., AROCA, P., ARANTES, S., DIAS, L., FERNANDES, R., LI, D., PIMENTA, B., ROCHA, A., SASS, K., USSAMI, K. *Interregional Input-Output System for Chile 2014*. The University of São Paulo, Regional and Urban Economics Lab (NEREUS), 2018.

HARVEY, D. *Justice, Nature & the geography of difference*. Blackwell Publishers, 1996.

HIRSCHMAN, A. *The strategy of economic development*. Yale University Press, 1958.

JACKSON, R., & MURRAY, A. Alternative Input-Output Matrix Updating Formulations. *Economic Systems Research*, 2004, Vol. 16(2), p. 135-148.

KRONENBERG, T. Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods: The Role of Cross-Hauling. *International Regional Science Review*, 2009, Vol. 32(1), p. 40-64.

LENZEN, M., MURRAY, J. Conceptualising environmental responsibility. *Ecological Economics*, 2010, Vol. 70, p. 261-270.

LEONTIEF, W. *The structure of American economy, 1919-1929: an empirical application of equilibrium analysis*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953.

MARDONES, C., & BAEZA, N. Economic and environmental effects of a CO<sub>2</sub> tax in Latin American countries. *Energy Policy*, 2018, Vol. 114, p. 262-273.

MARDONES, C. & GALLARDO, A. Contribución de la industria forestal al desarrollo económico de la región del Biobío, Chile. *Madera y bosques*, 2012, Vol. 18(2), p. 27-50.

MARDONES, C., & MUÑOZ, T. Environmental taxation for reducing greenhouse gases emissions in Chile: an input-output analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 2017, Vol. 20, p. 2545-2563.

MARDONES, C. & SAAVEDRA, J. Matriz de contabilidad social extendida ambientalmente para análisis económico de la región del bio-bio. *Revista de Análisis Económico*, 2011, Vol. 26(1), p. 17-51.

MARQUES A, RODRIGUES J, LENZEN M, DOMINGOS T. Income-based environmental responsibility. *Ecological Economics*, 2012, Vol. 84, p. 57-65.

MI, Z., ZHENG, J., MENG, J., ZHENG, H., LI, X., COFFMAN, D., WOLTJER, J., WANG, S., GUAN, D. Carbon emissions of cities from a consumption-based perspective. *Applied Energy*, 2019, Vol. 235, p. 509-518.

MILLER, R. & BLAIR, P. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University, 2009.

MINISTERIO DE ENERGÍA. Informe balance anual de energía 2017. División de Prospectiva y Análisis de Impacto Regulatorio, Chile, 2019.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Reporte del inventario nacional de gases de efecto invernadero 2018. Ministerio del Medio Ambiente, 2018.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan de acción nacional de cambio climático 2017-2022. División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente, 2017.

MUÑOZ, T. & MARDONES, C. Simulation of a CO<sub>2</sub>e tax to mitigate impacts from Chilean agricultural and livestock sectors on climate change. *Agrociencia*, 2016, Vol. 50(3), p. 271-285.

O'RYAN, R., MILLER, S. & DE MIGUEL, C. A CGE framework to evaluate policy options for reducing air pollution emissions in Chile. *Environment and Development Economics*, 2003, Vol. 8, p. 285-309.

PIÑERO, P., BRUCKNER, M., WIELAND, H., PONGRÁCZ, E., & GILJUM, S. The raw material basis of global value chains: allocating environmental responsibility based on value generation. *Economic Systems Research*, 2018, Vol. 31(2), p. 206-227.

RASMUSSEN, P. *Studies in InterSectoral Relations*. Copenhagen, Einar Harks, 1956.

REHNER, J. & RODRIGUEZ-LEIVA, S. (2017). Inversión inmobiliaria en tiempos de auge y crisis: ¿Es la ciudad un producto minero o un derivado financiero?. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2017, Vol. 67, p. 183-210.

RIVERA, N. & AROCA, P. Escalas de producción en economías mineras. El caso de Chile en su dimensión regional. *Revista EURE*, 2014, Vol. 40(121), p. 247-270.

SCHLOSBERG, D. Theorising environmental justice, the expanding sphere of a discourse. *Environmental Politics*, 2013, Vol. 22(1), 37-55.

SCHUCKING, H., KROLL, L., LOUVEL, Y., RICHTER, R. Bankrolling climate change: a look into the portfolios of the world's largest banks. *Urgewald, GroundWork, Earthlife Africa Johannesburg and BankTrack*, 2011.

SCOTT, M. El "lado oscuro" de la gobernanza del uso de suelo: las narrativas espacio- temporales y la neutralización del riesgo ambiental. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2019, Vol. 74, p. 21-37.

SPAISER, V., SCOTT, K., OWEN, A., & HOLLAND, R. Consumption-based accounting of CO<sub>2</sub> emissions in the sustainable development Goals Agenda. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2018, Vol. 26(4), p. 282-289.

STONE, R. *Input-Output and National Accounts*, OCDE, Paris, 1961.

SZABO, H. Methods for regionalizing input-output tables. *Regional Statistics*, 2015, Vol. 5(1), p. 44-65.

UNITED NATIONS. Framework on Climate Change. In: Annual Conference of Parties, COP21, Paris, France, 7-8 December 2015. Adoption of the Paris Agreement, 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/I09r01.pdf>.

WIEBE, K., HARSDORFF, M., MONTT, G., SIMAS, M., & WOOD, R. A global circular economy scenario in a multi-regional input-output framework. *Environmental Science & Technology*, 2019, Vol. 53(11), p. 6362-6373.

WIEBE, K. & YAMANO, N. Estimating CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015: Methodology and Results. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2016.

XU, L., CHEN, G., WIEDMANN, T., WANG, Y., GESCHKE, A., & SHI, L. Supply-side carbon accounting and mitigation analysis for Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration in China. *Journal of Environmental Management*, 2019, Vol. 248, article 109243.

