

24 - 26 | Noviembre 2021 | Madrid
XLVI Reunión de Estudios Regionales

International Conference on Regional Science

Ciudades llenas, territorios vacíos

Universidad Autónoma de Madrid



COMUNICACIÓN

Título: Análisis de las emisiones de CO₂ a partir de un modelo input-output multirregional para Chile

Autores y e-mails:

Carmen Ramos Carvajal¹ cramos@uniovi.es

Patricio Aroca González² patricio.aroca@uai.cl

Juan Carlos Miranda³ jmiranda@uach.cl

Felipe Acum Boassi⁴ felipeacum@gmail.com

Departamento:

¹ Departamento de Economía Aplicada

² Centro de Economía y Políticas Regional

³ Departamento Estadística

⁴ Departamento de Ciencias Administrativas y Económicas

Universidad:

¹ Universidad de Oviedo, España

² Universidad Adolfo Ibañez, Chile

³ Universidad Austral, Chile

⁴ Universidad de los Lagos, Chile

Área Temática: Modelos input-output en el análisis regional. Teoría y aplicaciones

Resumen:

El cambio climático y sus efectos es hoy en día un tema crucial tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo, convirtiéndose el impacto ambiental en un tema de debate público y social e impulsando a países e instituciones a profundizar en esta problemática. Chile, en el marco de los compromisos adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, está desarrollando un amplio soporte estadístico relativo a este tema.

En este artículo se mide la huella de carbono generada por la actividad de las distintas actividades económicas, empleando para ello la información proporcionada por el Balance Nacional de Energía, referente a las emisiones de CO₂ de Chile en 2014, y un modelo input-output multirregional. De esta manera, y considerando las interacciones intersectoriales e interregionales, se calculará la huella de carbono generada por los sectores productivos. En este sentido, el presente estudio posibilita determinar qué ramas tienen una mayor incidencia en el impacto climático.

Palabras Clave: Análisis input-output, modelo multirregional, emisiones de CO₂, Chile

Clasificación JEL: C67, Q53

1-INTRODUCCIÓN

El cambio climático es actualmente una de las mayores preocupaciones de los gobiernos y de la sociedad. Sus consecuencias pueden ser devastadoras a nivel mundial, por ello, el estudio y la implementación de diferentes técnicas que permitan un conocimiento más profundo de este fenómeno pueden constituir herramientas que ayuden a enfrentarlo.

En este marco conceptual, y según Chancel y Piketty (2015), la desigualdad económica y el cambio climático son dos de los principales problemas con los que los países se encuentran en la actualidad y que se hallan estrechamente relacionados. En este sentido, establecen cuatro diferentes tipos de desigualdades ambientales:

1. Desigualdades ambientales en términos de la exposición a la degradación ambiental, las cuales ocurren entre y dentro de los países y entre grupos sociales y étnicos (Chakravarty y Ramana, 2012).
2. Desigualdades tanto en la contribución a la contaminación como en los impactos que provocan distintos grupos sociales o individuos sobre la degradación del medio (IPCC, 2014). Este será el enfoque aplicado en el presente trabajo: el análisis de los desequilibrios en las emisiones de CO₂ a la atmósfera.
3. Desigualdades en los efectos que provocan las políticas y que alteran la distribución de los ingresos. Así, por ejemplo, las políticas energéticas que aumentan el precio de la energía pueden tener impactos regresivos, es decir, afectar a los individuos o regiones pobres relativamente más que a los ricos (Sterner, 2011; Davoudi y Brooks, 2014).
4. Desigualdades ambientales relacionadas con los desequilibrios en la formulación de políticas, es decir, diferentes grupos sociales no acceden a la formulación de políticas ambientales de la misma manera (Martínez-Alier, 2003).

Uno de los aspectos más relevantes en el estudio del cambio climático es el de las emisiones de gases efecto invernadero y, entre ellos, es especialmente importante el CO₂. La estabilización y reducción en la emisión de CO₂ a la atmósfera constituye un objetivo común a nivel mundial. En este sentido, se han propuesto una serie de iniciativas internacionales para promover la reducción de emisiones tanto a nivel nacional como internacional. Como resultado de la distribución desigual de las emisiones y del desarrollo diverso de las economías, se ha señalado la posibilidad de establecer una responsabilidad compartida en la reducción de emisiones entre los países. Dicha responsabilidad tiene

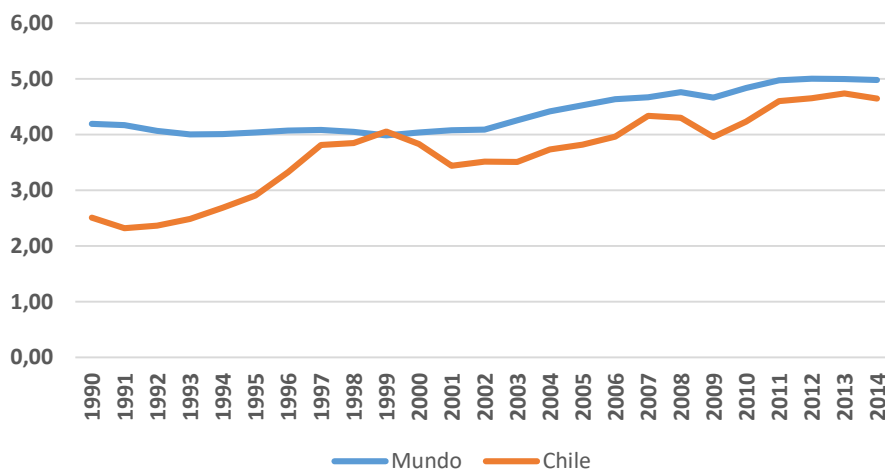
importantes efectos sobre la economía y el bienestar, ya que es probable que una restricción de emisiones imponga desafíos al crecimiento económico, particularmente para los países en desarrollo. La equidad en la distribución de las emisiones es, por lo tanto, un tema fundamental y muy tenido en cuenta en las negociaciones sobre el clima. Se espera que garantizar una responsabilidad justa en la reducción de emisiones a nivel mundial incentive a una mayor participación en iniciativas medioambientales, lo cual constituirá un requisito previo para un acuerdo climático efectivo (Wang y Zhou, 2018).

La importancia del estudio de los desequilibrios regionales en la emisión de CO₂ se justifica actualmente porque Chile ha ratificado el Acuerdo de París en febrero de 2017 y está promoviendo el avance de políticas públicas conducentes a un consumo energético responsable, como es el caso de la Política Energética 2050. El objetivo fundamental de este trabajo consiste en determinar y analizar las diferencias regionales en la emisión de CO₂ en Chile en 2014.

Chile no es un gran contribuyente a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, por ejemplo, en 2018 emitió aproximadamente 91 mil Kilotoneladas, por lo que ocupa el lugar 143 de los 186 países considerados (Muntean et al., 2018). Sin embargo, es uno de los países más vulnerables a sus efectos, debido a su alta exposición geográfica y a sus elevados niveles de contaminación atmosférica urbana, condición que se acentúa si se tiene en cuenta el hecho de su elevada desigualdad en relación con su distribución de ingresos (Pinto, 2019). Entre las principales consecuencias que previsiblemente tendrá sobre Chile el cambio climático se encuentran la sequía, las inundaciones y la variabilidad climática (Hurlbert y Gupta, 2016).

En el gráfico 1 se muestran las emisiones de CO₂ per cápita a nivel mundial en el período 1990-2014, apreciándose una tendencia creciente que parece ralentizarse en los últimos años considerados. El comportamiento emisor de Chile, a partir del año 2000, es similar al mundial, aunque a menor escala, con la única excepción de 1999 en el que es ligeramente superior.

Gráfico 1. Emisiones mundiales y chilenas de CO₂ per cápita (Toneladas), 1990-2014



Fuente: Banco Mundial.

La existencia de desequilibrios en la distribución de emisiones de CO₂, tanto a nivel mundial como dentro de un país, conduce a diferentes criterios y puntos de vista para su reducción. Las diferentes responsabilidades de los habitantes de distintos territorios y los problemas generados por estas divergencias constituyen una característica fundamental que debe ser considerada en las negociaciones sobre las acciones de mitigación de las emisiones (Padilla y Serrano, 2006). Las protestas derivadas de la injusticia ambiental se hacen más patentes si los afectados por el daño no son responsables de él y, más aún, si las comunidades desfavorecidas sufren las cargas ambientales causadas por las más ricas (Davoudi y Brooks, 2014).

Chile está constituido por distintas regiones que presentan diferencias climáticas, demográficas y económicas que generan, al menos en parte, desequilibrios en las emisiones de CO₂. La perspectiva regional y los hechos y situaciones asociados a dicha perspectiva son relevantes para la determinación de las diferencias en la gestión de la contaminación ambiental, en este sentido, son numerosos los trabajos que hacen referencia, bajo distintas ópticas, a su consideración. Así, y centrándonos en las relaciones existentes entre las emisiones de CO₂ y la población que habita en las ciudades en Chile, podemos ver el trabajo de Aburto y Samaniego (2020). Por otra parte, Bascuñán (2010) analiza este mismo aspecto, pero sobre la cuenca del río Elqui, en la región de Coquimbo. En Vidal et al. (2017) se estudian las relaciones entre las emisiones y la ocurrencia de

incendios forestales en la región del General O'Higgins. Balkenhol et al. (2018) analizan y cuantifican las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el Hospital Base de Puerto Montt, para aportar información sobre el impacto que tiene la actividad clínica en el cambio climático y en la salud de las personas. Pino (2017) presenta un método para estimar las emisiones contaminantes en las zonas portuarias del país debidas al transporte marítimo. En estos trabajos y en otros varios, podemos apreciar que las regiones chilenas presentan problemáticas y casuísticas diferentes que conducen a distintas situaciones medioambientales.

Las regiones se encuentran interrelacionadas entre sí a partir de las actividades económicas que se establecen entre ellas, por esto y para estimar la cantidad de CO₂ emitido, se utilizará un marco que permite la consideración de las peculiaridades e interrelaciones entre las unidades geográficas de análisis, como es el modelo MRIO (Modelo Multirregional Input-Output).

Este artículo aparece estructurado de la siguiente manera: el primer epígrafe consiste en una introducción al tema objeto de estudio, así como una motivación sobre la relevancia del mismo; en el segundo se presenta la metodología que va a ser aplicada y los antecedentes bibliográficos de la misma; a continuación, en el tercer apartado, se señalan las fuentes estadísticas de las que se ha obtenido la información necesaria para llevar a cabo el análisis aplicado. En el cuarto epígrafe se presentan los resultados derivados del empleo de la metodología propuesta a los datos obtenidos y, por último, en el apartado quinto se recogen las principales conclusiones del análisis.

2- ESTIMACIÓN REGIONAL DE LAS EMISIONES: EL MODELO MRIO

El modelo Input-Output (IO) ideado por Leontief es una herramienta de inestimable potencialidad en el estudio de la estructura productiva de países o regiones, proporcionando conocimiento de la economía en su conjunto, al recoger tanto las relaciones entre los distintos sectores como la demanda final, las importaciones y exportaciones (Hewings y Jensen, 1987).

2.1. EL MODELO MRIO

Supongamos que se desea analizar una región, el modelo de demanda IO se puede expresar de la siguiente manera:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{Y} \quad (1)$$

Donde \mathbf{x} representa el vector de las producciones sectoriales totales de la economía regional (en nuestro caso), \mathbf{A} es la matriz de coeficientes técnicos regionales, cuyos elementos tienen la expresión siguiente:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (2)$$

los cuales pueden ser interpretados como la proporción de compras que el sector j hace al i , respecto del total de compras del j . Por último, \mathbf{Y} representa la demanda final regional. Sin embargo, y pese a la innegable utilidad de este modelo, no permite captar las interconexiones entre regiones, ya que supone que la región de interés está esencialmente "desconectada" o aislada del resto del país en el que se encuentra ubicada, por ello, resulta más adecuado el empleo de un modelo multirregional que considere a cada región como parte de un todo con el que se encuentra relacionada (Miller y Blair, 2009). Una panorámica sobre los inicios y evolución en la aplicación de los modelos multirregionales se puede ver Hewings y Jensen (1987) o Miller y Blair (2009).

La estructura de un modelo MRIO es la siguiente (Miller y Blair, 2009):

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{A}^* \mathbf{x}^* + \mathbf{Y}^* \quad (3)$$

Donde

$$\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{11} & \dots & \mathbf{A}^{1p} \\ \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}^{p1} & \dots & \mathbf{A}^{pp} \end{bmatrix} \quad \mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \dots \\ \mathbf{x}^p \end{bmatrix} \quad \mathbf{y}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{y}^{11} & \dots & \mathbf{y}^{1p} \\ \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{y}^{p1} & \dots & \mathbf{y}^{pp} \end{bmatrix} \quad (4)$$

\mathbf{A}^* es una matriz por bloques, compuesta a su vez por un conjunto de matrices; aquellas que se encuentran en la diagonal principal (\mathbf{A}^{11} , \mathbf{A}^{22} , ... \mathbf{A}^{pp}) representan a las matrices de coeficientes técnicos intrarregionales. Las matrices que se encuentran fuera de dicha diagonal ($\mathbf{A}^{rs} \forall r \neq s$) representan a las transacciones interregionales. Los elementos de una matriz genérica \mathbf{A}^{rr} tienen la forma $a_{ij}^{rr} = \frac{x_{ij}^{rr}}{x_j^r}$, y pueden ser interpretados como la proporción de compras del sector j al i , respecto de la producción total del j en la región

r. Por otra parte, un coeficiente $a_{ij}^{rs} = \frac{x_{ij}^{rs}}{x_j^s}$ puede ser interpretado como las compras que el sector j de la región s le hace al sector i de la región r, respecto de sus compras totales.

El vector \mathbf{x}^* se encuentra constituido por los vectores de producción sectorial total de cada una de las regiones analizadas. Por último, la matriz \mathbf{Y}^* está constituida por las demandas finales intrarregionales \mathbf{Y}^{rr} , esto es, la demanda final de la región r generada en la propia región y las interregionales \mathbf{Y}^{rs} , es decir, la demanda final de la región s generada en la r.

A partir de la formulación anterior se tiene

$$\mathbf{x}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^* \quad (5)$$

siendo $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}$ la denominada inversa de Leontief en un modelo multirregional, cuyos elementos $\{b_{ij}^{rs}\}$ representan la variación generada en la producción del sector i de la región r como consecuencia de un cambio en la demanda final del sector j en la región s.

2.2. LA EXTENSIÓN DEL MODELO MRIO

La extensión ambiental del modelo input-output (regional o multirregional) se presenta al incorporar al mismo las emisiones derivadas de la actividad de los sectores económicos. Un modelo MRIO extendido ambientalmente permite una medición eficiente de los flujos ambientales generados a través de las interrelaciones entre los sectores, destacando así el vínculo entre las actividades económicas y sus consecuencias ambientales (Ewing et al., 2012).

Denotando con \mathbf{E} a las emisiones totales, podemos escribir:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}\mathbf{x} \quad (6)$$

donde \mathbf{e} representa la intensidad de emisión, es decir, las emisiones por unidad de output. Por lo tanto, y considerando la ecuación (5) del modelo MRIO se tiene

$$\mathbf{E} = \hat{\mathbf{e}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^* \quad (7)$$

Con $\hat{\mathbf{e}}$ se denota el vector \mathbf{e} diagonalizado.

Dado que se dispone de un modelo multirregional, se tiene la información relativa a los flujos interregionales y, a partir de ellos, se pueden conocer las importaciones y

exportaciones entre las distintas regiones y, asimismo, es posible calcular las emisiones generadas por dicho comercio. Para efectuar este cálculo partiremos de las expresiones siguientes presentadas por Hubacek y Feng (2016) y Brizga et al. (2017). Así, las emisiones contenidas en las exportaciones de la región r a las demás regiones se obtienen a partir de la expresión siguiente

$$\mathbf{E}^{\text{exp}(r)} = \hat{\mathbf{e}}^r (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \mathbf{Y}^{*s} \quad (8)$$

Donde $\mathbf{E}^{\text{exp}(r)}$ representa las exportaciones interregionales de emisiones de una región r , $\hat{\mathbf{e}}^r$ es la matriz diagonal que representa la intensidad de las emisiones cuyos elementos toman la siguiente forma

$$\hat{\mathbf{e}}^r = \begin{cases} e_i^r & \text{si } s = r \quad \forall s = 1 \dots p \\ 0 & \text{si } s \neq r \quad \forall s = 1 \dots p \end{cases} \quad (9)$$

Por otra parte, \mathbf{Y}^{*s} representa la matriz de demanda final del resto de regiones, excluyendo a la r .

Las emisiones derivadas de la importación de bienes y servicios a otras regiones se determinan mediante la expresión

$$\mathbf{E}^{\text{imp}(r)} = \hat{\mathbf{e}}^s (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (10)$$

Ahora, los elementos de $\hat{\mathbf{e}}^s$ tomarían la forma

$$\hat{\mathbf{e}}^s = \begin{cases} e_i^s & \text{si } s \neq r \quad \forall s = 1 \dots p \\ 0 & \text{si } s = r \quad \forall s = 1 \dots p \end{cases} \quad (11)$$

$\mathbf{E}^{\text{imp}(r)}$ representa a las emisiones importadas por la región r de otras regiones debidas a la compra de bienes y servicios producidos en ellas; \mathbf{Y}^{*r} es la demanda final de la región r .

Si se consideran las emisiones importadas y exportadas, se puede establecer un balance de las mismas (Arto, et al., 2012), el cual tomará valor positivo si las emisiones importadas superan a las exportadas y viceversa.

$$\mathbf{BE}^{(r)} = \hat{\mathbf{e}}^s (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \mathbf{Y}^{*s} - \hat{\mathbf{e}}^r (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \mathbf{Y}^{*r} \quad (12)$$

Donde $\mathbf{BE}^{(r)}$ representa el balance de emisiones para una región genérica r .

Hace unas décadas, el enfoque para la asignación de la responsabilidad en la emisión de gases efecto invernadero era principalmente de carácter territorial (Arto et al. 2012), esto es, un territorio (región o nación) era responsable de las emisiones que se producen dentro de él, sin considerar los flujos asociados al comercio interterritorial. Sin embargo, un territorio puede producir emisiones derivadas de la demanda de otro espacio geográfico (emisión exportada) o su demanda puede generar emisiones en otros territorios (emisiones importadas). Así podemos referirnos a la responsabilidad del productor como aquella en que la asignación de las emisiones de gases derivadas de la actividad económica de un territorio corresponde a dicho territorio, sea cual sea el origen geográfico de la demanda que las generan. Este criterio suele penalizar a los países emergentes que frecuentemente exportan productos muy contaminantes y propicia el fomento de la fuga de emisiones. Para ampliar el concepto de responsabilidad surge la denominada responsabilidad del consumidor, según la cual un territorio es responsable de las emisiones derivadas de los bienes y servicios consumidos en él sea cual sea el origen de dichos productos (Serrano y Roca, 2008). Tiene como principal ventaja la de asignar las emisiones a aquellos países que importan mercancías muy contaminantes y que frecuentemente son desarrollados y, por tanto, de reducirlas de aquellos territorios exportadores y habitualmente de economías emergentes (Arce, 2014).

A partir de lo anteriormente señalado podemos establecer la responsabilidad del productor derivada de las emisiones producidas por una región genérica r ($\mathbf{E}^{\text{RP}(r)}$) como:

$$\mathbf{E}^{\text{RP}(r)} = \hat{\mathbf{e}}^r(\mathbf{I} - \mathbf{A}^r)^{-1}\mathbf{Y}^{*r} + \hat{\mathbf{e}}^r(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*s} \quad (13)$$

donde \mathbf{A}^r es una matriz cuyos elementos toman la forma siguiente

$$\mathbf{A}^r = \begin{cases} a_{ij}^r & \text{si } a_{ij}^r \in \mathbf{A}^{rr} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (14)$$

Donde \mathbf{A}^{rr} representa a la matriz doméstica de la región r .

La responsabilidad del consumidor (\mathbf{E}^{RC}) puede ser determinada como

$$\mathbf{E}^{\text{RC}(r)} = \hat{\mathbf{e}}^r(\mathbf{I} - \mathbf{A}^r)^{-1}\mathbf{Y}^{*r} + \hat{\mathbf{e}}^s(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*r} \quad (15)$$

De acuerdo a Hung et al. (2019) se tiene

$$\mathbf{E}^{\text{RC}(\mathbf{r})} = \mathbf{E}^{\text{RP}(\mathbf{r})} - \hat{\mathbf{e}}^{\text{r}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*\text{s}} + \hat{\mathbf{e}}^{\text{s}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*\text{r}} \quad (16)$$

Además, y de acuerdo a la ecuación (12)

$$\mathbf{E}^{\text{RC}(\mathbf{r})} - \mathbf{E}^{\text{RP}(\mathbf{r})} = \hat{\mathbf{e}}^{\text{s}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*\text{r}} - \hat{\mathbf{e}}^{\text{r}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}\mathbf{Y}^{*\text{s}} = \mathbf{BE}^{(\mathbf{r})} \quad (17)$$

Es decir, la diferencia entre las responsabilidades del consumidor y del productor coincide con el balance de las emisiones.

3- INFORMACIÓN ESTADÍSTICA EMPLEADA

La información necesaria para llevar a cabo este estudio es de dos tipos: información económica referente a las tablas input-output multirregionales de Chile e información medioambiental relativa a las emisiones de CO₂.

3.1. INFORMACIÓN ECONÓMICA

Las matrices que constituyen el modelo multirregional para Chile han sido elaboradas por Haddad et al. (2018). Tienen como período de referencia el año 2014 y presentan una desagregación en 12 sectores (S1, Agropecuario-silvícola y Pesca; S2, Minería; S3, Industria manufacturera; S4, Electricidad, gas, agua y gestión de desechos; S5, Construcción; S6, Comercio, hoteles y restaurantes; S7, Transporte, comunicaciones y servicios de información; S8, Intermediación financiera; S9, Servicios inmobiliarios y de vivienda; S10, Servicios empresariales; S11, Servicios personales y S12, Administración pública). Se refieren a las 15 regiones chilenas existentes en 2014 (la denominación de las regiones es XV, Arica y Parinacota; I, Tarapacá; II, Antofagasta; III, Atacama; IV, Coquimbo; V, Valparaíso; RMS, Región Metropolitana de Santiago; VI, Libertador General Bernardo O'Higgins; VII, Maule; VIII, Biobío; IX, La Araucanía; XIV, Los Ríos; X, Los Lagos; XI, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo; XII, Magallanes y de la Antártica Chilena).

3.2. INFORMACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Dada la escasa información relativa a las emisiones de gases por sector con una desagregación suficiente por región, ha sido preciso llevar a cabo su estimación. Así, para obtener los datos referentes a los sectores de Pesca, Comercio, Minería, Industria Manufacturera, Electricidad, Gas y Agua, Construcción, Transporte y Administración pública, se han empleado los datos del Balance Nacional de Energía (2014), el cual proporciona información regional sobre los consumos de combustible. Además, los datos relativos al sector agrario se han obtenido de los Inventarios regionales de los gases de efecto invernadero (Ministerio de Medio Ambiente, 2017 y 2019). Por lo que se refiere a los Servicios de Intermediación financiera, Servicios inmobiliarios y de vivienda, Servicios personales y Servicios Empresariales dado su escaso peso en las emisiones, así como la falta de información sobre los mismos (CEPAL, 2014) se van a considerar conjuntamente con Administración Pública, esto es, se han agrupado en un único sector que se ha denominado Otros Servicios. Para “transformar” el consumo en combustible en unidades de CO₂ emitidas se han empleado los factores de emisión recogidos en la Environmental Protection Agency (2014). La fórmula empleada ha sido la siguiente, la cual permitirá llevar a cabo dicha conversión (Oficina Catalana del Cambio Climático, 2011):

$$e_j^c = \sum_j \left(\sum_k f_k c_{jk} \right) \quad (18)$$

Donde e_j^c representa a las emisiones del sector j-ésimo obtenidas a partir del consumo de combustibles; f_k es el factor de conversión del tipo de combustible k-ésimo y c_{jk} representa el consumo de combustible k realizado por el sector j.

Por otra parte, la Comisión Nacional de la Energía también publica información regional y sectorial sobre las emisiones de gases en la Estadística Emisiones Regionales por categorías (2014). Sin embargo, el nivel de desagregación sectorial empleado es menor y no coincidente con el del Balance Nacional. En el cuadro siguiente se presentan las desagregaciones sectoriales, así como sus equivalencias:

Tabla 1. Equivalencia de las actividades económicas según las distintas fuentes de información

Estadística Emisiones Regionales por categoría	Balance Nacional de Energía	Tabla Input-Output
Industria de la energía	Energía	Electricidad, gas y agua y gestión de desechos
Transporte	Transporte	Transporte y comunicaciones
Manufacturas y Construcción	Azúcar, Manufactureras, Celulosa y Papel, Petroquímica, Siderurgia	Manufactureras
	Hierro, Cobre, Salitre, Minas varias	Minería
	Cemento	Construcción
Otros sectores	Comercio	Comercio, Hoteles y Restaurantes
	Administración Pública	Administración Pública
	Agricultura, Silvicultura Pesca	Agricultura, Silvicultura y Pesca
		Intermediación financiera Servicios inmobiliarios y vivienda Servicios empresariales Servicios personales

Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de conseguir una congruencia entre las fuentes estadísticas y una desagregación concordante con la que aparece en la tabla input-output multirregional, hemos procedido a la estimación de las emisiones sectoriales a partir del reparto de los elementos de la matriz de emisiones proporcionada por la Comisión Nacional de la Energía de acuerdo con la estructura sectorial de los estimados a partir de los consumos de combustibles de la manera siguiente:

$$e_j = \sum_k e_j^e p_{kj} \quad (19)$$

Donde e_j representa a las emisiones estimadas de cada sector, e_j^e es la emisión para cada sector proporcionada por la Comisión Nacional de Energía y p_{kj} es el coeficiente de reparto para cada sector de las emisiones obtenidas del Balance Nacional.

Finalmente, y una vez establecida la congruencia entre todas las fuentes estadísticas utilizadas, la agregación empleada en este trabajo es la siguiente: S1, Agropecuario-silvícola y Pesca; S2, Minería; S3, Industria manufacturera; S4, Electricidad, gas, agua y gestión de desechos; S5, Construcción; S6, Comercio, hoteles y restaurantes; S7, Transporte, comunicaciones y servicios de información y S8, Resto de servicios.

4-RESULTADOS DEL ANÁLISIS

A partir de las emisiones de CO₂ estimadas y de la aplicación de la formulación del modelo MRIO anteriormente presentado se obtienen las emisiones regionales asociadas al comercio en cada región chilena.

4.1. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

Como ya se ha señalado anteriormente, no sólo la producción y el consumo en el interior de la propia región generan emisiones sino también las demandas por parte de otras regiones (vía exportación) o de la propia región hacia otras regiones (vía importación). En la tabla 2 se presentan las emisiones contenidas en las importaciones y exportaciones de bienes y servicios entre las regiones chilenas para 2014:

Tabla 2: Emisiones derivadas del comercio interregional (Miles de Tm de CO₂)

Región	Emisiones exportadas (1)	Emisiones importadas (2)	Balance (2-1)
Arica y Parinacota	286,35	250,79	-35,55
Tarapacá	624,51	695,52	71,02
Antofagasta	2841,73	975,19	-1866,54
Atacama	1484,51	384,46	-1100,05
Coquimbo	229,51	1202,02	972,51
Valparaíso	5677,42	1525,10	-4152,32
Región Metropolitana de Santiago	3160,25	9886,95	6726,71
Libertador General Bernardo O'Higgins	733,85	1051,96	318,11
Maule	394,00	997,99	604,00
Biobío	4514,14	1424,97	-3089,17
La Araucanía	242,67	1260,96	1018,29
Los Ríos	304,50	430,75	126,26
Los Lagos	700,30	1187,79	487,50
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	137,20	267,18	129,98
Magallanes y la Antártica Chilena	453,81	243,06	-210,74

Fuente: elaboración propia.

El balance ha sido calculado como diferencia entre las emisiones derivadas de las importaciones y las exportaciones; por lo tanto, un resultado negativo indica que las emisiones exportadas superan a las importadas, es decir, la región considerada exporta emisiones derivadas de su producción y esta cantidad supera a las emisiones contenidas en las importaciones que realiza. Por otra parte, si el balance es positivo, la importación de emisiones supera a su exportación y la región considerada generará con su demanda de bienes y servicios, emisiones en la región de origen que superan a las exportadas. En

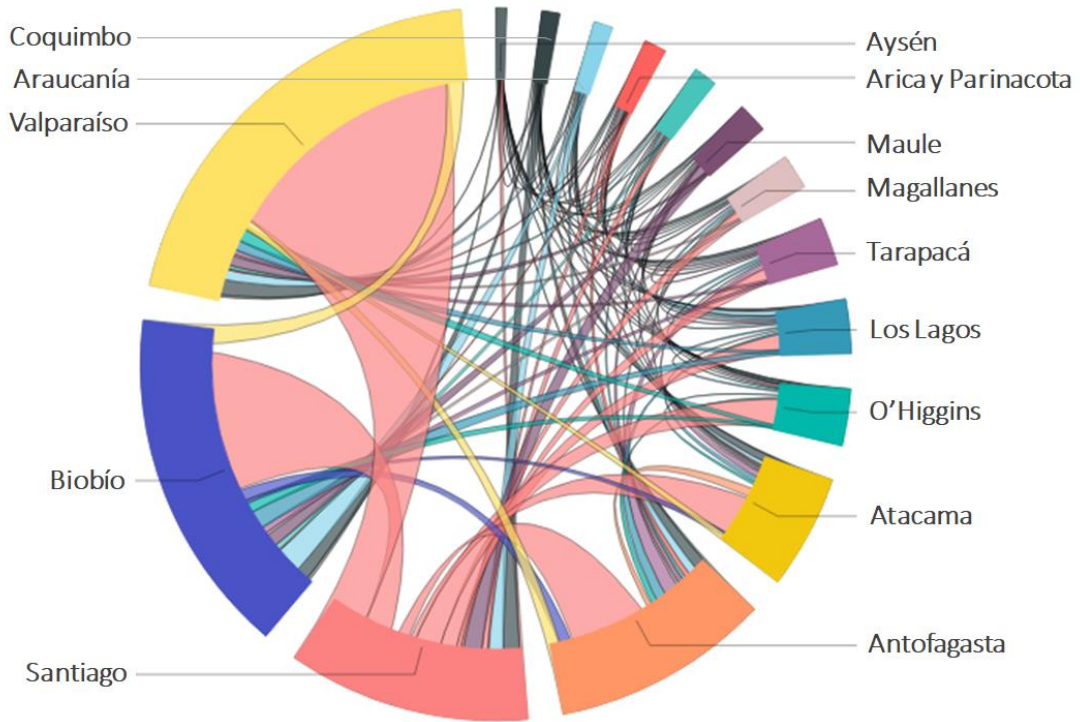
este sentido, se puede hablar de territorios que generan una deuda medioambiental si su balance de emisiones es positivo y de otros que la soportan, cuando su balance de emisiones es negativo.

Entre las regiones que presentan un balance negativo (sufren una deuda medioambiental) se encuentran aquellas que fundamentalmente exportan bienes y servicios producidos por actividades altamente emisoras, entre ellas podemos referirnos a Arica y Parinacota, cuyas principales actividades económicas exportadoras son las de Comercio y Transportes y Comunicaciones; Antofagasta y Atacama, uno de cuyos más relevantes sectores exportadores es la minería; las regiones de Valparaíso y Biobío, con unas ramas energética y Agropecuaria, Silvícola y Pesquera muy importantes; una situación parecida se tiene en la región de Magallanes en relación con la rama Agropecuaria, Silvícola y Pesquera.

El resto de las regiones presentan un balance de emisiones positivo, esto es, generan deuda medioambiental a través de sus importaciones. Así, podemos referirnos a Tarapacá, donde los sectores importadores más relevantes son la minería y la industria manufacturera; algo similar ocurre en Coquimbo y la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, en las que además de la minería es relevante la actividad de Transporte. En las regiones de La Araucanía, Maule, Los Ríos y Los Lagos destacan las importaciones realizadas por las actividades de Transporte y Manufacturera. En lo que respecta a la Región Metropolitana de Santiago, núcleo demográfico y de servicios más importante del país, tiene como actividades principales la Industria manufacturera y el sector de Energía; en Aysén, además de la rama energética, son actividades importadoras la Industria manufacturera y el Transporte.

Asimismo, se puede continuar el análisis desagregando las exportaciones e importaciones de emisiones de acuerdo con la estructura del comercio interregional. Los resultados se muestran en los gráficos siguientes:

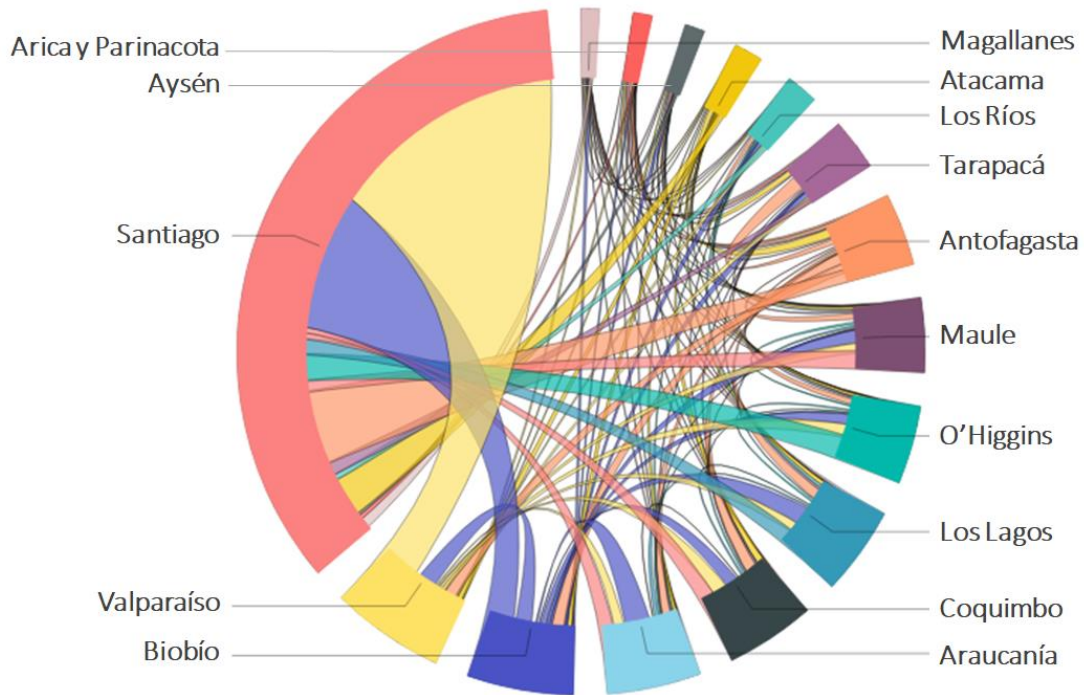
Gráfico 2: Exportaciones interregionales de CO2 (miles de Tm)



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Gráfico 2, las regiones que mayor volumen de emisiones generan en la producción de bienes y servicios exportados a otras regiones del país son Valparaíso, Biobío Santiago y Antofagasta. Por lo cual, bajo la perspectiva de la asignación de responsabilidad del productor, estas regiones están asumiendo el coste por bienes y servicios que producen y de los que no se benefician en términos de consumo. Valparaíso y Biobío presentan industrias manufactureras intensivas en emisiones de CO₂. Santiago debido a su alta concentración y volumen de producción industrial. Antofagasta es debido a que una de sus principales actividades productivas es la minería, cuya producción es intensiva en energía originada con base en la quema de combustibles fósiles.

Gráfico 3: Importaciones interregionales de CO2 (miles de Tm)



Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 3 se puede apreciar que las regiones que mayor volumen de emisiones generan en otras regiones por el consumo de bienes y servicios importados son Santiago, Valparaíso, Biobío y Araucanía. Por lo que, bajo la perspectiva de responsabilidad del consumidor, estas regiones deberían asumir el coste ambiental generado como consecuencia de su consumo. La Región Metropolitana de Santiago, Valparaíso y Biobío constituyen grandes centros de actividad y demográficos en el país lo que justifica su comportamiento tanto importador como exportador.

4.2. RESPONSABILIDADES DEL CONSUMIDOR Y DEL PRODUCTOR

Una vez que se han estimado las emisiones contenidas en el comercio interregional se puede proceder al cálculo de la responsabilidad del productor y del consumidor. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 3. Emisiones de CO₂ (Miles de Tm) según las responsabilidades del productor y del consumidor

Región	E ^{RP}	E ^{RC}
Arica y Parinacota	1026,22	990,66
Tarapacá	5228,66	5299,67
Antofagasta	16704,65	14838,11
Atacama	4817,38	3717,33
Coquimbo	1318,09	2290,6
Valparaíso	15566,98	11414,66
Región Metropolitana de Santiago	15251,86	21978,56
Libertador General Bernardo O'Higgins	2526,56	2844,67
Maule	1202,5	1806,49
Biobío	11452,67	8363,5
La Araucanía	809,48	1827,77
Los Ríos	1080,41	1206,66
Los Lagos	2743,52	3231,01
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	498,36	628,34
Magallanes y la Antártica Chilena	2777,71	2566,96

Fuente: Elaboración propia.

Como ya se ha mostrado con anterioridad, las emisiones cuantificadas según el criterio de la responsabilidad del productor están muy relacionadas con las emisiones exportadas y como puede apreciarse en la tabla anterior, las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama, Valparaíso, Biobío y Magallanes tienen valores de E^{RP} superiores a los de E^{RC}. Se trata de regiones que generan emisiones tanto para hacer frente a su demanda interior como para la exportación. Algo similar ocurre con las emisiones determinadas a partir de la responsabilidad del consumidor, las cuales están muy relacionadas con las emisiones importadas, las regiones que muestran valores de E^{RC} por encima de los de E^{RP} son Tarapacá, Coquimbo, Región Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins, Maule, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén. Son regiones que generan emisiones para cubrir su consumo tanto dentro de su propio territorio como en otros, vía importaciones

Los territorios que más emiten considerando ambos criterios de responsabilidad son Antofagasta, donde el sector minero es muy relevante a nivel de país y Valparaíso, la Región Metropolitana de Santiago y Biobío que constituyen grandes centros de actividad y población.

5- CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En este trabajo se han analizado los desequilibrios en la distribución de las emisiones de CO₂ a nivel regional en Chile, en el año 2014. Dado que existe una relación inversa entre la responsabilidad por dichas emisiones y la vulnerabilidad ante sus efectos, es importante tener en cuenta la desigualdad existente en la distribución de las emisiones de CO₂ en el diseño de medidas que frenen el cambio climático.

Para determinar las emisiones sectoriales directa e indirectamente emitidas se ha empleado un modelo Input-Output. Dado que el territorio chileno se encuentra dividido en regiones, obviamente interconectadas entre sí, se ha aplicado un modelo MRIO extendido en el que se ha incorporado información medioambiental (emisiones de GEI).

Se ha comenzado por determinar las emisiones bajo las perspectivas del consumidor y del productor, considerando las derivadas del comercio entre regiones. En este contexto, las regiones de Tarapacá, Coquimbo, Región Metropolitana de Santiago, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Región del Maule, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo presentan saldos positivos, es decir, las emisiones importadas superan a las exportadas y contribuyen a la generación de una deuda ecológica.

Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama, Valparaíso, Biobío y Magallanes y la Antártica Chilena presentan una responsabilidad del productor superior a la del consumidor. Se trata de regiones que generan emisiones tanto para hacer frente a su demanda interior como para su exportación. Por otra parte, las regiones que muestran valores de E^{RC} por encima de los de E^{RP} son Tarapacá, Coquimbo, Región Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins, Maule, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén.

Con el objetivo de reducir las emisiones y su desigual distribución se han aplicado (y se aplican) diferentes políticas. Una de las cuales ha sido la utilización de impuestos ambientales, los cuales proporcionan incentivos a los agentes económicos para reducir sus emisiones. Los impuestos ambientales “son aquellos cuya base imponible consiste en una unidad física (o similar) de algún material que tiene un impacto negativo, comprobado y específico, sobre el medio ambiente” (Eurostat).

Otra opción puede ser permitir la compensación internacional a través de un mecanismo de mercado de bonos de carbono, los cuales constituyen un mecanismo para conseguir la reducción de las emisiones contaminantes. El mercado de bonos de carbono consiste en la compra y venta de certificados de reducción de emisiones y permisos de emisión, cuyos montos son asignados anualmente. Sin embargo, debido al pequeño valor en el que se han negociado dichos bonos en los últimos años, las fuentes reguladas podrían preferir comprar reducción de emisiones en el extranjero y no pagar el impuesto, con lo cual la recaudación fiscal se vería disminuida (Mardones y Muñoz, 2017).

Por otra parte, la sustitución de fuentes energéticas fósiles por otras renovables conducirá a una reducción de las emisiones. Sin embargo, aunque Chile cuenta con un enorme potencial en cuanto a estas fuentes energéticas, ha sido poco aprovechado hasta la fecha, dado que han sido escasamente implementadas y a la poca disponibilidad de recursos financieros para desarrollar este tipo de proyectos (Maldonado et al, 2018).

La innovación ambiental es otra vía para la reducción de las emisiones, la cual se refiere a todas las medidas que implementan tanto las empresas como los hogares privados consistentes en desarrollar nuevas ideas, introducir procesos eficientes o aplicar tecnologías, con el objetivo de contribuir a la reducción de las cargas ambientales y a la sostenibilidad ecológicamente especificada (Rennings, 2000). Se trata de una forma eficaz de conciliar el crecimiento económico y la protección del medio ambiente promoviendo un desarrollo sostenible (Aggeri, 1999).

6-REFERENCIAS

Aburto, M. A. S., & Samaniego, H. (2020). Observación espacial y análisis de la relación entre las emisiones atmosféricas de CO₂ y el tamaño de las ciudades en Chile. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 59(2), 73-92.

Aggeri, F. (1999). Environmental policies and innovation: a knowledge-based perspective on cooperative approaches. *Research policy*, 28(7), 699-717.

Arce G. (2014). Fuga de carbono, hipótesis refugio de emisiones e hipótesis alternativas. Una revisión de la literatura. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, (881), 167-178.

- Arto, I., Roca, J., & Serrano, M. (2012). Emisiones territoriales y fuga de emisiones: análisis del caso español. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 18, 0073-87.
- Balkenhol, M., Castillo, A., Soto, M., Feijoo, M., & Merino, W. (2018). Huella de carbono en el Hospital Base de Puerto Montt. *Revista médica de Chile*, 146(12), 1384-1389.
- Bascuñán F. (2010). Crecimiento urbano y balance de CO₂ en la cuenca del río Elqui (Chile). *Bosque*, 31(2), 109-116.
- Brizga, J., Feng, K., & Hubacek, K. (2017). Household carbon footprints in the Baltic States: A global multi-regional input-output analysis from 1995 to 2011. *Applied energy*, 189, 780-788.
- Burgos, F., Miranda, J.C. & Ramos, C. (2019). Análisis de la huella de carbono a partir de la metodología Input-Output. Un estudio para la Región de los Ríos. *Actas XLV Reunión de Estudios Regionales*, Castellón, España.
- CEPAL, N. (2014): Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República de Chile, 2014.
- Comisión Nacional de Energía (2014): Balance Nacional de Energía.
- Comisión Nacional de Energía (2014): Emisiones regionales por categorías.
- Chakravarty, S., & Ramana, M. V. (2012). The hiding behind the poor debate: a synthetic overview. *Handbook of climate change and India: Development, politics and governance*, 1, 218-229.
- Chancel, L., & Piketty, T. (2015). Carbon and inequality: From Kyoto to Paris Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & prospects for an equitable adaptation fund World Inequality Lab.
- Davoudi, S., & Brooks, E. (2014). When does unequal become unfair? Judging claims of environmental injustice. *Environment and Planning A*, 46(11), 2686-2702.
- Empresa portuaria de Valparaíso. Puerto de Valparaíso.
<https://www.puertovalparaiso.cl/> Con acceso 17/01/2020.
- Environmental Protection Agency (2014): Emission factors for greenhouse gas for inventories.

- Ewing, B. R., Hawkins, T. R., Wiedmann, T. O., Galli, A., Ercin, A. E., Weinzettel, J., & Steen-Olsen, K. (2012). Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input–output framework. *Ecological Indicators*, 23, 1-8.
- Haddad, E. A., Aroca, P. A., Arantes, S. M., Dias, L. C. C., Fernandes, R. P., Li, D. L., Pimenta, B. P. P., Rocha, A. A. M., Sass, K. S., Ussami, K. A. (2018). Interregional Input-Output System for Chile, 2014, The University of São Paulo Regional and Urban Economics Lab (NEREUS), mimeo
- Hewings, G. J., & Jensen, R. C. (1987). Regional, interregional and multiregional input-output analysis. In *Handbook of regional and urban economics* (Vol. 1, pp. 295-355). Elsevier.
- Hubacek, K., & Feng, K. (2016). Comparing apples and oranges: some confusion about using and interpreting physical trade matrices versus multi-regional input–output analysis. *Land Use Policy*, 50, 194-201.
- Hung, C. C., Hsu, S. C., & Cheng, K. L. (2019). Quantifying city-scale carbon emissions of the construction sector based on multi-regional input-output analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 75-85.
- Hurlbert, M., & Gupta, J. (2016). Adaptive governance, uncertainty, and risk: policy framing and responses to climate change, drought, and flood. *Risk Analysis*, 36(2), 339-356.
- 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* (No. wp431).
- López, M. Á. F., Fernández, Y. F., Hernández, D. G., & Blanco, B. O. (2014). El factor regulación como determinante del consumo energético y de las emisiones de CO₂. *Cuadernos de Economía*, 37(104), 102-111.
- Maldonado, Y. A. M., Pineda, R. G., & Blanco, S. S. (2018). Análisis de integración regional con fuentes de energía renovables en América Latina y el Caribe (ALC). *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 1(1), 106-125.
- Mardones, C., & Muñoz, T. (2017). Impuesto al CO₂ en el sector eléctrico chileno: efectividad y efectos macroeconómicos. *Economía Chilena*, 20(1), 4-25.

- Martínez-Alier, J. (2003). *The Environmentalism of the poor: a study of ecological conflicts and valuation*. Edward Elgar Publishing.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge University press.
- Ministerio de Medio Ambiente (2017): Informe del Inventario nacional de gases efecto invernadero, serie 1990-2013.
- Ministerio de Medio Ambiente (2019): Inventarios regionales de gases efecto invernadero serie, 1990-2016.
- Muntean, M., Guizzardi, D., Schaaf, E., Crippa, M., Solazzo, E., Olivier, J., & Vignati, E. (2018). Fossil col emissions of all world countries. *European Commission, Tech. Rep.*
- Muñoz, P., & Steininger, K. W. (2010). Austria's CO₂ responsibility and the carbon content of its international trade. *Ecological Economics*, 69(10), 2003-2019.
- Oficina Catalana del Cambio Climático (2011): Guía práctica para el cálculo de la emisión de gases efecto invernadero.
- Padilla, E., & Serrano, A. (2006). Inequality in CO₂ emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach. *Energy policy*, 34(14), 1762-1772.
- Pino, A. E. (2017). Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas producidas por embarcaciones marítimas en Chile. Repositorio USM
- Pinto, F. (2019). Cambio climático en Chile: del desafío global a la oportunidad local. Fundación Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, 32(2), 319-332.
- Roca, J., & Serrano, M. (2007). Income growth and atmospheric pollution in Spain: an input–output approach. *Ecological Economics*, 63(1), 230-242.
- Rodríguez, I. & Sanhuesa, P. (2019). *Diversificación productiva y especializaciones sectoriales en Chile* (No. 50). Cuerpo Académico 41 de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

- Serrano, M., y Roca, J. (2008). Comercio internacional y responsabilidades en las emisiones de gases de efecto invernadero. El caso español 1995-2000. *EKONOMIAZ. Revista vasca de Economía*, 67(01), 284-301.
- Stern, T. (Ed.). (2012). *Fuel taxes and the poor: the distributional effects of gasoline taxation and their implications for climate policy*. Routledge.
- Su, B., & Ang, B. W. (2014). Input–output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: a multi-region model for China. *Applied Energy*, 114, 377-384.
- Vidal, P., De Santis, A., Pérez, W., & Honeyman, P. (2017). Uso de herramientas de teledetección para el análisis de la severidad y estimación de gases de efecto invernadero (GEI) en incendios forestales de gran magnitud. Estudio de caso incendio La Rufina, VI Región del LGB O'Higgins, Chile. *Revista de Teledetección*, (50), 59-69.
- Wang, H., & Zhou, P. (2018). Assessing global CO₂ emission inequality from consumption perspective: an index decomposition analysis. *Ecological economics*, 154, 257-271.
- 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.
- Wilting, H., & Vringer, K. (2007, July). Environmental accounting from a producer or a consumer principle: an empirical examination covering the world. In *16th International Input-Output Conference* (pp. 2-6).
- Zhang, Y. J., Bian, X. J., Tan, W., & Song, J. (2017). The indirect energy consumption and CO₂ emission caused by household consumption in China: an analysis based on the input–output method. *Journal of cleaner production*, 163, 69-83.