



**Título:** Estimando la huella de carbono a través de la metodología input-output: el caso de la Región de los Ríos en Chile

**Autores y e-mails:** Fernanda Burgos Soto<sup>1</sup>, fernanda.burgos.s@gmail.com; Juan Carlos Miranda Castillo<sup>2</sup>, jmiranda@uach.cl; Carmen Ramos Carvajal<sup>3</sup>, cramos@uniovi.es

**Departamento:** <sup>1,2</sup> Estadística, <sup>3</sup> Economía Aplicada

**Universidad:** <sup>1,2</sup> Universidad Austral de Chile, <sup>3</sup> Universidad de Oviedo (España)

**Área Temática:** Sostenibilidad urbana y de los territorios, recursos naturales, energía y medio ambiente

**Resumen:** El cambio climático es hoy en día un tema crucial tanto en los países desarrollados como en los no desarrollados, convirtiéndose el impacto ambiental en un tema de debate público y social, impulsando a países e instituciones a profundizar en esta problemática.

En el presente artículo, se pretende medir la huella de carbono, en la Región de los Ríos (Chile) para el año 2016, empleando para ello la información proporcionada Balance Nacional de Energía y la matriz Insumo-Producto regional. De esta manera, y considerando las interacciones intersectoriales, se calculará la huella de carbono en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, de cada uno de los sectores productivos para la región y sus interrelaciones.

En esta dirección, a través de la matriz insumo-producto y de los resultados obtenidos del consumo proveniente de las industrias y familias, este estudio permite determinar qué sectores productivos tienen una mayor incidencia en el impacto climático. Por tanto, estos resultados permiten a los tomadores de decisiones poner en manifiesto los desafíos a los que se enfrenta la región en orden a determinar aquellos instrumentos más adecuados para la adaptación y mitigación del cambio climático.

**Palabras Clave:** *Cambio climático, Huella de carbono, Análisis Input-Output, Región de los Ríos.*

**Clasificación JEL:** C67, O18, Q51

## 1 INTRODUCCIÓN

Chile es un país de marcada heterogeneidad geográfica y climática, posee cualquier tipo de clima de los existentes en la Tierra, a excepción sólo del clima tropical. Su forma alargada y angosta conforma una gran variedad de ecorregiones en su vasta extensión territorial. La importante presencia de estos recursos naturales en el país amerita un análisis de las relaciones y los efectos recíprocos entre medioambiente y el crecimiento de la economía chilena.

La creciente preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático ha impulsado a organizaciones e instituciones, a profundizar en el conocimiento respecto de los gases de efecto invernadero (GEI) y a su dinámica. En los últimos años, se han desarrollado varias herramientas de cuantificación para determinar el nivel de emisiones de GEI, siendo la huella de carbono una de ellas (Padgett et al, 2008; Kanenoto et al, 2016; Malik et al, 2016).

Hoy en día, contar con una medición adecuada de la huella de carbono para desarrollar políticas tendentes a la mitigación del cambio climático y coherentes con la sustentabilidad ecológico-económica de largo plazo, constituye un factor de competitividad importante para el crecimiento económico y progreso de una nación.

El presente artículo pretende cuantificar la generación de CO<sub>2</sub> equivalente de los diferentes sectores productivos de la Región de Los Ríos (Chile), mediante el uso de la metodología insumo-producto. Uno de los principales aportes de dicha metodología es la incorporación de información que permite identificar las interacciones entre los diferentes sectores económicos. En lo que nos consta, este trabajo presenta como novedad la aplicación del análisis insumo-producto para cuantificar la huella de carbono, por primera vez, a la economía regional chilena y se basa en la investigación de López, Accorsi, Sturla (2016), quienes calcularon la huella de carbono para la economía chilena a nivel de país.

El objetivo de este trabajo es fundamentalmente estimar, evaluar y analizar la huella de carbono generada por los distintos sectores productivos y de los hogares en la Región de los Ríos, a través de la matriz insumo-producto (MIP) y de la información proporcionada por el Balance Nacional de Energía (BNE).

Este análisis se realiza sobre 10 sectores productivos de la región y se estima en base a información actualizada al año 2016. Por otra parte, se intentará valorar el impacto ambiental en aquellos sectores con mayor implicación en la generación de GEI. Para lograr este objetivo utilizará como base la información de la MIP de la economía de la Región de Los Ríos para el periodo 2016 (Miranda et al., 2019) y la información referente a la matriz energética de la economía regional.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: en el epígrafe 2, se presentan conceptos básicos relativos al análisis insumo-producto, así como la metodología para la determinación de la huella de carbono. En el apartado 3 se realiza la estimación de la huella de carbono mediante la aplicación del modelo anteriormente presentado a la matriz insumo-producto y a la información estadística proporcionada por el Balance Nacional de Energía. Por último, en el apartado 4 se presentan las principales conclusiones del presente trabajo.

## **2 CONCEPTOS Y METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS**

### **2.1 Modelo Insumo-Producto**

El modelo Insumo-Producto ha sido desarrollado a finales de la década de 1930 por Wassily Leontief, siendo su objetivo fundamental analizar la interdependencia entre las industrias dentro de una economía.

De acuerdo al modelo de demanda de Leontief (Miller y Blair, 2009), la expresión 1 describe un sistema de ecuaciones formulado matricialmente, donde  $\mathbf{x}$  es un vector de orden  $n \times 1$ , siendo  $n$  el número de sectores de la economía.  $\mathbf{X}$  es la matriz de demanda intermedia (de orden  $n \times n$ ) cuyos elementos son  $x_{ij}$ ,  $\mathbf{i}$  es un vector de unos e  $\mathbf{y}$  es una matriz, donde cada columna representa a uno de los componentes de la demanda final.

$$\mathbf{x} = \mathbf{X}\mathbf{i} + \mathbf{y} \tag{1}$$

Por otra parte,

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{y} \tag{2}$$

donde  $\mathbf{A}$  es una matriz  $n \times n$ , de requerimientos técnicos, siendo sus componentes  $a_{ij}$  los coeficientes técnicos, los cuales se suponen constantes. Un coeficiente técnico se define como:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (3)$$

Pudiendo ser interpretado como la proporción de bienes y servicios comprados por el sector  $\mathbf{j}$  al sector  $\mathbf{i}$  respecto del total de la producción del sector  $\mathbf{j}$ . Considerando las ecuaciones (1) y (2) y operando convenientemente, se obtiene:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (4)$$

La expresión  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  representa a la inversa de Leontief y muestra el impacto total o efecto multiplicador de un incremento exógeno de la demanda final sobre el output total de una economía. Un elemento genérico  $(i,j)$  de esta matriz se interpreta como las necesidades directas e indirectas del bien  $i$ , precisas para satisfacer la demanda final del  $j$  (Miller y Blair, 2009).

Así, podemos señalar que una MIP es una representación simplificada de la situación de la economía real que se elabora para un país o región en un período de tiempo seleccionado y en términos monetarios. Se construye, por tanto, a partir de los datos económicos observados en una zona geográfica determinada, diferenciando la actividad de cada rama económica y focalizándose en las transacciones entre los sectores productivos orientadas a la satisfacción de bienes para la demanda final, así como de bienes intermedios que se compran y venden entre sí. Ello se expresa mediante una tabla de doble entrada, donde la producción obtenida por las distintas actividades económicas se registra en las filas de las tablas y su respectivo uso intermedio o final, en las columnas (Banco Central de Chile, 1996).

## **2.2 Metodología para el cálculo de la huella de carbono**

Como ya se ha señalado, este artículo tiene por objetivo efectuar el cálculo de la huella de carbono (expresado en Tm de CO<sub>2</sub> equivalente) desagregada en los sectores productivos de la Región de Los Ríos, con la finalidad de que sirva de apoyo en la toma de decisiones público-privadas y en la generación de estrategias para afrontar los requerimientos de largo plazo que impone el cambio climático.

La metodología aquí aplicada permite tomar en cuenta las interacciones entre los sectores económicos y, en consecuencia, obtener una estimación sectorial de las emisiones de CO<sub>2</sub> para la región. Este método considera las emisiones directas (uso de combustibles fósiles y procesos industriales para el sector Industria) y las emisiones indirectas (emisiones provenientes de las interrelaciones con otros sectores económicos).

De acuerdo a los trabajos de Turner et al. (2007) y López et al. (2016), para calcular la huella de carbono basada en el modelo Insumo-Producto, es necesario disponer de las siguiente matrices y vectores:

- a) Una MIP que indique las transacciones monetarias ocurridas en una economía, en la cual se especifiquen un vector  $\mathbf{x}$  de producción y un vector (matriz)  $\mathbf{y}$  de demanda final. A partir de dicha MIP se determinarán la matriz  $\mathbf{A}$  y la inversa de Leontief.
- b) Dos matrices de uso de energía, denominadas  $\mathbf{E}_{ind}$ , que indicará el uso de combustible del k-ésimo tipo por unidad de output en el sector industrial  $j$  y  $\mathbf{E}_{fd}$ , que contiene el uso por parte de los hogares del k-ésimo tipo de combustible por unidad monetaria de la demanda final de bienes del sector  $j$ .
- c) Un vector  $\mathbf{c}$  de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de combustible usado de cada tipo.

La matriz insumo-producto actúa como un instrumento de interpretación de las interdependencias de los diversos sectores de la economía, explicitando el hecho que en la producción de un bien final de un determinado sector se utilizan insumos que corresponden a outputs provenientes del resto de los sectores de la economía (y también del mismo sector) y a su vez, el producto de dicho sector sirve de insumo para otros sectores.

En primer lugar, denominaremos  $\sigma_{ind}$  a las emisiones sectoriales totales de la región, y su cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$\sigma_{ind} = \mathbf{c}' \mathbf{E}_{ind} \mathbf{x} \quad (5)$$

Donde  $\mathbf{c}'$  es el vector transpuesto de las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de combustible y  $\mathbf{E}_{ind}$  es la matriz de coeficientes de combustible por sector por unidad de output total.

Por lo tanto podemos escribir la expresión siguiente (Turner et al., 2007)

$$\sigma_{\text{ind}} = \mathbf{c}' \mathbf{E}_{\text{ind}} (\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (6)$$

$(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$  representa a la matriz inversa de Leontief e  $\mathbf{y}$  es el vector de demanda final.

Cada elemento de la matriz inversa de Leontief muestra la cantidad de producción del sector  $i$  necesaria para satisfacer una unidad de demanda final del sector  $j$ -ésimo. Al ser constante, este elemento indica la variación en la producción del sector  $i$ -ésimo generada por una variación en la demanda final del sector  $j$ -ésimo (Miller y Blair, 2009). Lo relevante de los elementos de la matriz de Leontief es que condensan en un solo número los efectos multiplicadores directos e indirectos ya que los cambios de producción en un sector impactan también sobre los demás sectores que lo utilizan como insumo<sup>1</sup>. Por ende, captura fielmente los efectos indirectos de las emisiones de CO<sub>2</sub> a través del proceso productivo.

En segundo lugar, denominaremos  $\delta_{\text{fd}}$  a las emisiones asociadas a la demanda final. Su cálculo se realiza según la ecuación (7):

$$\delta_{\text{fd}} = \mathbf{c}' \mathbf{E}_{\text{fd}} \mathbf{y} \quad (7)$$

Donde  $\mathbf{E}_{\text{fd}}$  es la matriz de combustible por unidad monetaria de la demanda final e  $\mathbf{y}$  es la demanda final.

Finalmente, denominaremos  $(\Omega\sigma)$  al total de emisiones producidas por los sectores y los agentes económicos de la región. Esta fórmula resulta de combinar las ecuaciones (6) y (7), y muestra el total de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente basado en la metodología input-output. Tal y como se observa a continuación:

$$\Omega\sigma = \delta_{\text{fd}} + \sigma_{\text{ind}} = \mathbf{c}' \mathbf{E}_{\text{fd}} \mathbf{y} + \mathbf{c}' \mathbf{E}_{\text{ind}} (\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (8)$$

A partir de esta ecuación vamos a estimar la huella de carbono en la Región de los Ríos.

### 3 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO: CONSTRUCCIÓN DE VECTORES Y MATRICES

La metodología Insumo-Producto posibilita analizar las relaciones intersectoriales en la generación de contaminantes, permitiendo tomar medidas que conduzcan a actuar sobre el cambio climático. Este modelo permite analizar la interdependencia entre las

---

<sup>1</sup> Es preciso señalar que la matriz inversa de Leontief puede definirse como el desarrollo en serie de potencias de matrices de la siguiente forma  $\mathbf{I}+\mathbf{A}+\mathbf{A}^2+\mathbf{A}^3+\dots$

industrias de una economía a través del intercambio de materias primas, bienes o servicios. De esta forma, podemos visualizar los efectos directos e indirectos debido a un incremento en la demanda final de un determinado sector (Guajardo, 2002).

Los datos aquí utilizados para construir los vectores y matrices antes descritos se derivan del Balance Nacional de Energía para el periodo 2016 (Comisión Nacional de Energía, 2016); Matriz insumo-producto de la Región de Los Ríos para el año 2016 (Miranda et al., 2019) y los factores de conversión para 17 tipos de combustibles en términos de masa de CO<sub>2</sub> emitida por unidad de energía (IPCC<sup>2</sup>, 2014).

A continuación se presentan cada una de las componentes (matrices y vectores) requeridas para el cálculo, definido en la sección de anterior.

### **3.1 Matriz Insumo-Producto de la Región de Los Ríos**

La Región de Los Ríos (XIV Región) presenta una superficie de 18.429,5 kilómetros cuadrados, lo que supone el 2,4% del territorio nacional. Conforme a los datos del INE (2017), su población alcanza los 384.837 habitantes, abarcando las provincias de Valdivia y Ranco. Ubicada en una zona de lagos y volcanes, la región presenta un clima templado oceánico, reuniendo en sus territorios extensas zonas naturales compuestas principalmente por el bosque lluvioso y la selva valdiviana.

Las principales actividades de la economía regional son la actividad silvoagropecuaria, el comercio, la prestación de servicios y el turismo. Este último se caracteriza por tener una variada gama de atracciones, destacando la gastronomía y reservas naturales que generan experiencias de observación de flora y fauna en la zona.

La MIP de la Región de Los Ríos levantada por Miranda et al. (2019) para el año 2016, determina la estructura productiva de la zona, con un enfoque económico que permite avanzar hacia una mejor focalización de las partidas del gasto público dentro del territorio destinado al crecimiento, progreso de la región y el diseño de políticas públicas sustentables.

---

<sup>2</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), es una organización que facilita las evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

Para efectos de este estudio se agregó la información sectorial de la MIP de la región de Los Ríos de los 18 sectores económicos en que aparece desagregada (Miranda et al, 2019), a sólo 10. Dado que la desagregación del Balance Nacional de Energía utiliza dicho número de sectores, ha sido preciso realizar la agregación señalada, para así efectuar la imputación de energía y poder elaborar la matriz de consumos de combustibles para la región. (Ver anexo 1).

Por otra parte, acorde a la metodología establecida, se presentan los vectores de interés,  $x$  e  $y$  asociado a la matriz  $10 \times 10$ , los cuales corresponden a la producción total de los bienes intermedios y a la demanda final por sector (Ver anexo 2).

### **3.2 Información sobre consumo de combustibles: Balance energético regional**

La información empleada para realizar este estudio, como ya se ha señalado, se deriva del BNE además de la consideración de los procesos industriales para el año 2016, esta información agregada es de fácil acceso y coherente respecto a los usos totales de energía del país.

Para determinar las emisiones de GEI del sector energético nacional y por ende de cada combustible utilizado en procesos productivos, se usa la metodología recogida en el IPCC, que distingue entre las emisiones producto de la combustión y aquellas que se generan como fugas o subproductos de los procesos productivos. La primera de ellas cuantifica las emisiones de  $CO_2$  basándose en dos métodos de cálculos específicos, el de consumos aparentes o balance energético y el de usos o consumos finales. En el presente estudio se ha utilizado la metodología aplicada en el Balance Energético, la cual es asimilable, para todos los efectos, a la metodología IPCC de Consumos Finales o Usos Finales ya que se asignan los combustibles a cada sector económico, incluyendo la electricidad y los procesos industriales.

La metodología del BNE explicita los combustibles utilizados en los 10 sectores contenidos en la matriz insumo-producto para el caso de la región de Los Ríos, incorporando además las emisiones asociadas a procesos industriales. De esta forma será posible visualizar las diferencias significativas en las emisiones de  $CO_2$  estimadas para cada sector económico.

Para efectos de cálculo, se imputó la energía asociada a 17 combustibles fósiles, construida en base al Balance Nacional de Energía 2016, a cada uno de los 10 sectores de la MIP analizados, obteniendo como resultado una matriz de combustibles por sector de consumo nacional en Teracalorías (matriz 17x10)<sup>3</sup>.

A causa de la escasez de información respecto al consumo de combustibles fósiles regionales, ha sido necesario establecer algunos supuestos para poder obtener la información requerida.

El primer supuesto consiste en asumir que las pautas del consumo energético sectorial regional por fuente son análogas a las proporciones nacionales<sup>4</sup> (Ver Anexo 3), para posteriormente asociar a cada ítem, los 17 tipos de combustible evaluados en la matriz de consumo regional<sup>5</sup>. Sin embargo, con el objetivo de adaptar la realidad nacional a la regional y dado que el sector Minería es prácticamente inexistente en la región de Los Ríos, se han considerado nulos los valores de dicho sector. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos.

---

<sup>3</sup> Cabe mencionar que los sectores gas y electricidad no han sido contemplados como fuente de energía, pues ambos representan un sector en la matriz insumo-producto.

<sup>4</sup> Según datos del CNE

<sup>5</sup> Cabe destacar que esta matriz considera al combustible consumido de forma directa por cada sector como una forma de energía (teracalorías).

**Tabla 1.** Matriz de combustibles por sector del consumo energético regional (Teracalorías).

Tipo de combustible	Agropecuario-silvícola y pesca	Minería	Industria manufacturera	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, hoteles y restaurantes	Transporte y comunicaciones	Intermediación financiera, servicios empresariales	Servicios personales	Administración pública
Petróleo combustible	34,838	0,000	131,930	3,630	0,259	7,459	183,881	0,000	0,000	0,343
Diésel	304,302	0,000	1294,872	2,328	12,401	601,241	7096,463	0,000	1,650	63,764
Gasolina motor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3315,432	0,000	0,000	0,000
Kerosene	0,080	0,000	3,528	0,000	0,000	3,551	5,386	0,968	10,260	0,001
Gas licuado	0,998	0,000	58,027	2,596	0,456	33,212	6,855	0,000	0,000	5,053
Gasolina Aviación	0,000	0,000	0,617	0,000	0,000	0,082	5,218	0,000	0,000	0,008
Kerosene aviación	0,000	0,000	25,786	0,000	0,215	2,129	985,305	0,000	0,000	0,644
Nafta	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas refinera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carbón	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Coque	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alquitrán	0,000	0,000	0,000	8,588	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas corriente	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas alto horno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas natural	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Leña	0,000	0,000	12161,476	2,766	63,170	34,196	0,000	0,000	3717,630	89,479

Fuente elaboración propia a partir de datos del CNE.

### 3.3 Determinación de las matrices de consumo de combustible: industrias y hogares

Con el objetivo de elaborar la matriz de uso de energía  $E_{ind}$ , será necesario utilizar la matriz de combustibles de las industrias por sector del consumo energético regional y dividirla por el vector  $x$  de producción de bienes intermedios, tal y como se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Matriz de combustibles sectoriales por unidad monetaria de bien intermedio, en tercalorías/MM\$.

	Agropecuario-silvícola y pesca	Minería	Industria manufacturera	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, hoteles y restaurantes	Transporte y comunicaciones	Intermediación financiera y servicios empresariales	Servicios personales	Administración pública
Petróleo combustible	5,352E-05	0	0,0001463	0,00012986	1,32227E-06	1,58224E-05	0,00086042	0	0	4,1789E-06
Diésel	0,000467	0	0,00143657	8,3285E-05	6,34307E-05	0,001275471	0,03320591	0	5,2228E-06	0,00077686
Gasolina motor	0	0	0	0	0	0	0,01551364	0	0	0
Kerosene	1,230E-07	0	3,9141E-06	0	0	7,53202E-06	2,52E-05	8,80931E-06	3,2476E-05	1,0965E-08
Gas licuado	1,532E-06	0	6,4377E-05	9,2873E-05	2,33354E-06	7,0455E-05	3,2077E-05	0	0	6,1566E-05
Gasolina Aviación	0	0	6,8496E-07	0	0	1,73743E-07	2,4417E-05	0	0	9,8687E-08
Kerosene aviación	0	0	2,8608E-05	0	1,10027E-06	4,51731E-06	0,00461046	0	0	7,8511E-06
Nafta	0	0	0	1,7888E-08	0	0	0	0	0	0
Gas refinera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alquitrán	0	0	0	0,00030722	0	0	0	0	0	0
Gas corriente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas alto horno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leña	0	0	0,01349234	9,8944E-05	0,000323126	7,25442E-05	0	0	0,01176754	0,00109017

Fuente: elaboración propia.

De la misma forma para elaborar  $E_{fd}$ , es necesario disponer de una matriz del uso de combustibles por parte de los hogares en la región de Los Ríos. A causa de la escasa información referente al consumo de combustibles fósiles en la zona, se ha construido una matriz de uso de combustibles por parte de los hogares de la región de Los Ríos a partir de la matriz de combustible por unidad monetaria de bien final ( $E_{fd}$ ), que aparece en el artículo de López, Accorsi, & Sturla (2016), es decir, esta matriz fue multiplicada por el vector de demanda final del mismo estudio para obtener la matriz original del consumo de combustibles de las familias. Este valor alcanzo un total de 321.305,4 Teracalorías. Posteriormente, con la información del INE (2008) relativa a la población chilena, se

obtiene el consumo de combustible per cápita y a partir de la población de la región de Los Ríos al año 2016, se estima la matriz regional del uso de combustibles por parte de los hogares, medido en Teracalorías.

Finalmente, se determina la matriz  $E_{fd}$  y se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Matriz de combustible por unidad monetaria de bien final, en teracalorías/MM\$.

	Agropecuario-silvícola y pesca	Industria manufacturera	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, hoteles y restaurantes	Transporte y comunicaciones	Intermediación financiera y servicios empresariales	Servicios personales	Administración pública	
Petróleo combustible	3,187E-05	0	0,00089	0,00620	2,112E-05	1,848E-05	0,00319	0,00015	0	1,070E-05
Diésel	3,704E-05	0	0,00114	0,04534	1,413E-05	5,268E-05	0,00818	0,00044	4,038E-06	1,834E-05
Gasolina motor	0	0	0	1,312E-06	0	0	0,00538	0	0	0
Kerosene	0	0	1,981E-05	0	0	1,1090E-07	2,994E-06	9,5469E-07	4,422E-05	7,031E-07
Gas licuado	0	0	0	0,02147	0	0	0	0	0	0
Gasolina Aviación	3,5754E-08	0	3,733E-09	0	0	0	9,980E-06	0	0	0
Kerosene aviación	0	0	4,021E-07	0	0	0	0,00199	0	0	0
Nafta	0	0	0	0,00150	0	0	5,190E-07	0	0	0
Gas refinera	0	0	0	0,00477	0	0	0	0	0	0
Carbón	3,747E-06	0	0,00015	0,062051	0,0002762	0	3,992E-08	0	0	0
Coque	0	0	0,00031	0,009546	5,849E-05	0	0	0	0	0
Alquitrán	0	0	0	0,000236	0	0	0	0	0	0
Gas corriente	0	0	0	0,00178	0	0	0	0	0	0
Gas alto horno	0	0	0	0,00133	0	0	0	0	0	0
Gas natural	0	0	0	0,05250	0	0	0	0	0	0
Metano	0	0	6,893E-05	0	0	0	0	0	0	0
Leña	0	0	0,00215	0,00715	0	0	0	0	0,00227	0

Fuente: elaboración propia.

Por último y para realizar el cálculo final de  $\Omega_{\sigma}$ , se presenta (en el anexo 4) el vector de combustibles con los factores de conversión asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de combustible usado del k-ésimo tipo.

#### 4 RESULTADOS

Para determinar la huella de carbono de la región, es necesario calcular la ecuación (8), expresión que permite obtener las emisiones directas e indirectas en CO<sub>2</sub> equivalente.

$$\Omega_{\sigma} = \delta_{fd} + \sigma_{ind} = c' E_{fd} y + c' E_{ind} (I-A)^{-1} y \quad (8)$$

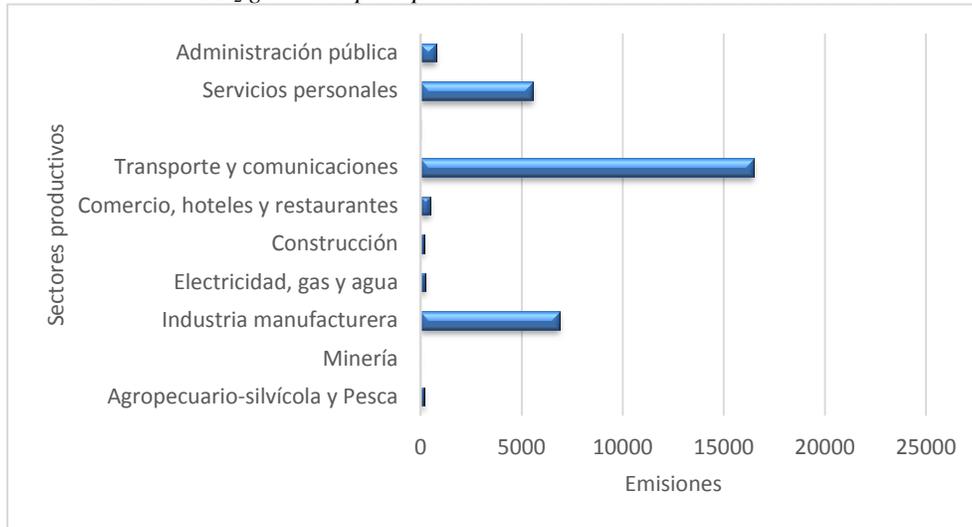
Siendo el resultado de aplicar la misma a las matrices y vectores anteriormente cuantificados de 14 mil millones de Tm de CO<sub>2</sub> equivalente para el año 2016 en la región.

Dicho resultado se desagrega de la siguiente manera; el 82% de las emisiones son generadas por las industrias y un 18% lo son generadas por las familias. Esto se debe a que las diferentes industrias consumen más combustibles fósiles que los hogares en el lugar de estudio, debido a sus interacciones sectoriales.

Cabe mencionar, al considerar conjuntamente la información, que es posible obtener una herramienta consistente en la medición del CO<sub>2</sub> equivalente para la región y con esto, cuantificar el impacto ambiental.

A partir de los resultados anteriores, se desprenden los gráficos 1 y 2, que muestran el CO<sub>2</sub> necesario para producir una unidad monetaria de cada sector (kg CO<sub>2</sub>/MM\$). Estos gráficos dan a conocer qué sectores tienen una mayor importancia en la generación de GEI.

**Gráfico 1.** CO<sub>2</sub> generado para producir una unidad monetaria de cada sector.



Fuente: elaboración propia.

Del gráfico 1 se desprende cuáles son los sectores cuyas emisiones afectan a la región en mayor medida, en relación con el uso de combustibles fósiles proveniente de las industrias. El sector con mayor impacto es el sector Transporte y comunicaciones; le sigue el sector Industria manufacturera; por último, el sector Servicios personales. Los demás sectores productivos tienen valores inferiores a los anteriores.

Estos resultados son coherentes con los que se obtienen a nivel país, donde los principales sectores que contribuyen a las emisiones de GEI corresponden, por este orden a generación energía eléctrica; transporte e industria y minería, con el 31%, 24% y 17% respectivamente, de las emisiones totales en el año 2030. Adicionalmente, al contemplar los sectores anteriores más el sector Comercial, Público y Residencial, en el año 2030, estos concentran el 80% de las emisiones a nivel nacional (Ministerio de Energía, 2017; POCH, 2017).

El marcado carácter emisor del sector Industria manufacturera, que representa un 22% de la actividad económica de la región (SENCE, UACH, OTIC SOFOFA, 2018), es debido a una elevada producción de productos lácteos, madera y derivados e industria cervecera, entre otros.

En lo que respecta al sector Servicios personales y sociales y debido al elevado nivel de agregación que presenta en este trabajo, representa el 17% de la actividad

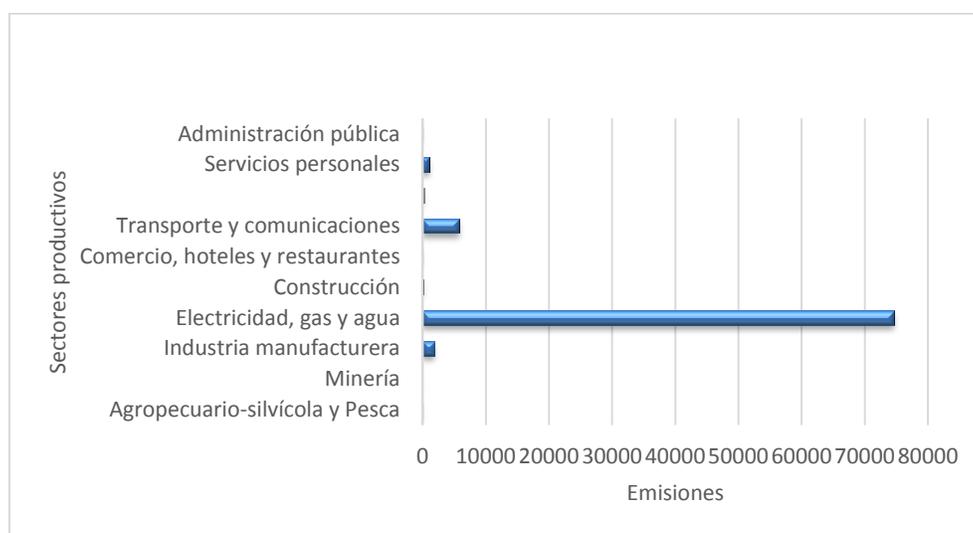
económica regional y probablemente sea debido a ello su fuerte carácter como sector emisor.

Por otra parte, los resultados relativos al sector Transporte y comunicaciones, que como ya se visto son congruentes con el comportamiento de las emisiones a nivel nacional.

Por otra parte, el gráfico 2, referido al consumo de combustibles fósiles por parte de las familias, muestra que el sector que más incide en la generación de GEI en la región de Los Ríos es el sector Electricidad, gas y agua. El sector transporte y el sector manufacturero tienen una menor relevancia como emisores de CO<sub>2</sub>.

Estos resultados son coherentes con respecto al consumo de las familias entendiendo que la sociedad tiene gran dependencia del uso de la electricidad, gas y agua como parte de la vida cotidiana y que su consumo ha ido creciendo con el transcurso del tiempo.

*Gráfico 2. CO<sub>2</sub> necesario para producir una unidad monetaria en cada sector.*



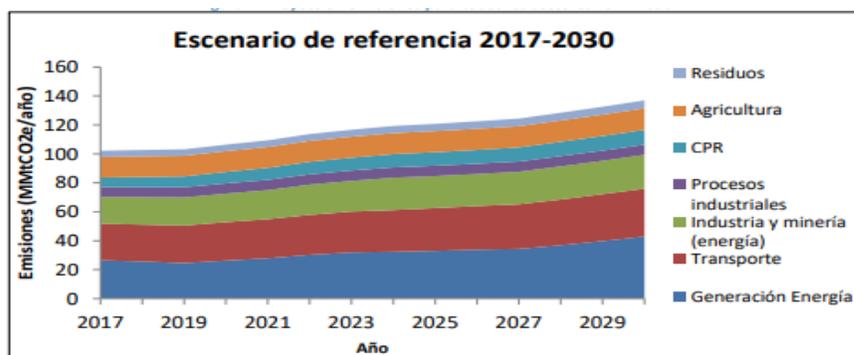
Fuente: elaboración propia.

Además, y por lo que se refiere a las actividades económicas y, de acuerdo con el gráfico 3, los sectores de energía y transporte juntos constituyeron en el 2013 el 77% del total de las emisiones, proporción que se mantiene siempre superior al 70% desde el año 2000 (Universidad de Chile, 2016). Demostrando que los resultados obtenidos para la región de Los Ríos tienen consistencia con lo que acontece a nivel país.

Por otra parte y en relación a las emisiones de los hogares, el sector de generación de energía eléctrica representa el 31% de las emisiones totales con respecto al año 2030, siendo el sector que más emisiones genera a nivel nacional y que gradualmente va en aumento, según la proyección 2017-2030.

**Gráfico 3.**

Proyección emisiones para todos los sectores 2017-2030.



Fuente: (POCH, 2017).

Por otra parte, se ha efectuado una caracterización de los sectores económicos de acuerdo a su “orientación” emisora de GEI, para ello se han considerado las emisiones de CO<sub>2</sub> de las industrias y familias a partir de su demanda (intermedia o final) determinando en cada caso aquellas ramas cuyas emisiones estuvieran por encima o por debajo de la mediana<sup>6</sup>, de esta forma se han clasificado a los sectores emisores como orientados al consumo familiar (si su nivel de emisión generada por la demanda familiar está sobre la mediana) como orientados al consumo industrial (si su nivel de emisión generada por la demanda intermedia esta sobre la mediana).

De esta manera podemos clasificar aquellos sectores en cuatro categorías:

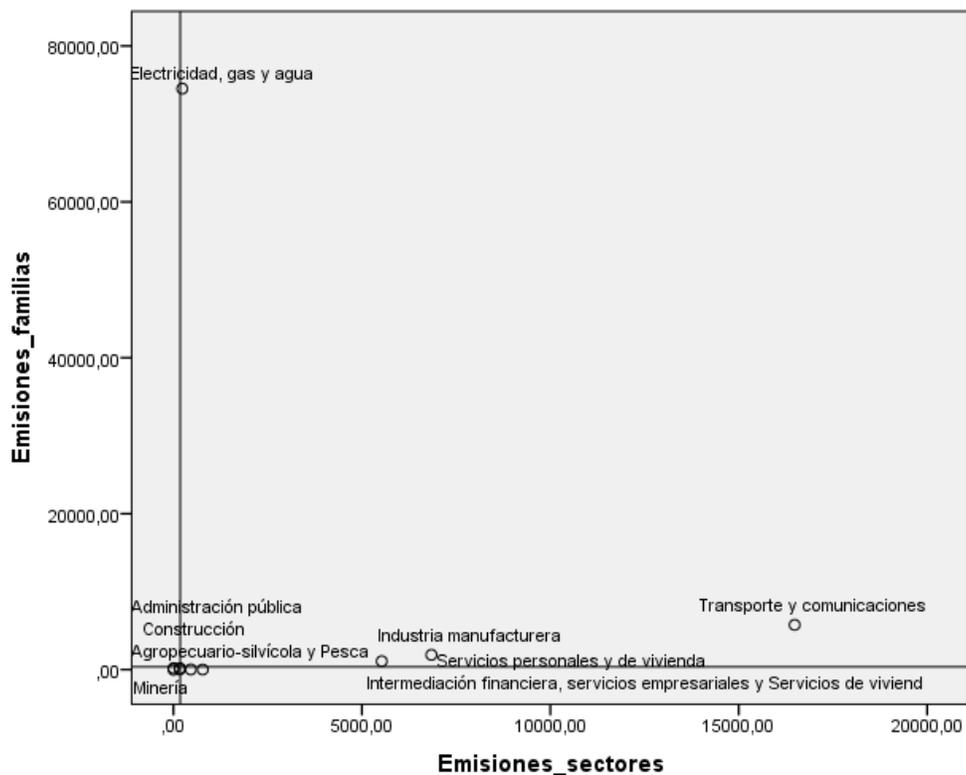
- a) Sectores emisores orientados al consumo familiar: Sectores cuyas emisiones están sobre la mediana debido únicamente a la demanda familiar.
- b) Sectores emisores orientados al consumo industrial: Sectores cuyas emisiones están sobre la mediana debido únicamente a la demanda industrial.

<sup>6</sup> Se ha empleado la mediana en lugar de la media aritmética, ya que la primera se encuentra menos afectada por los valores extremos de la distribución y proporciona valores más exactos.

- c) Sectores emisores orientados al consumo familiar e industrial: Sectores cuyas emisiones están sobre la mediana debido a la demanda familiar e industrial.
- d) Sectores cuyas emisiones están por debajo de la mediana.

En el gráfico 4, se puede apreciar que la demanda de las familias genera emisiones por encima de la mediana en los sectores que s la Industria manufacturera, Electricidad, gas y agua, Transporte y comunicaciones, Industria manufacturera, Servicios financieros y de la vivienda y Servicios personales. La demanda intermedia de la industria genera las mayores emisiones en los sectores la Industria manufacturera, Comercio, hoteles y restaurantes, Transporte y comunicaciones, Administración Pública y Servicios personales. El resto de los sectores (Agropecuario-silvícola y Pesca, Minería y Construcción) emiten CO<sub>2</sub> por debajo de la mediana tanto en relación al consumo de las familias como por parte de los sectores.

**Gráfico 4.** Clasificación de los sectores de acuerdo a sus emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de sectores y familias



## 5 CONCLUSIONES

Chile está examinando nuevas y rentables formas de intensificar la reducción de las emisiones y fomentar los flujos financieros, entre ellos se encuentra el impuesto verde. El objetivo de estos impuestos es internalizar los efectos de las emisiones contaminantes provenientes de las actividades gravadas. La Ley 20.780, introduce un impuesto a las emisiones de dióxido de carbono que lamentablemente discrimina entre fuentes emisoras y no se explicita cómo interactúa con los compromisos de reducción de emisiones que ha firmado Chile. Este impuesto fija un valor de US\$ 5 por tonelada de CO<sub>2</sub>, un coste muy bajo para lograr el compromiso de disminución en la emanación de CO<sub>2</sub> de acuerdo con la ratificación de Chile en el acuerdo de París. Un desafío a nivel país, sería analizar la necesidad de aumentar el impuesto a la emisión de CO<sub>2</sub> a las empresas contaminantes, que permita cumplir la meta de una reducción del 30% al año 2030 (Ochoa, 2018), puesto que este gravamen es inferior en comparación a los otros países asociados al acuerdo de París. Pero el mayor reto es que las empresas comiencen a buscar otras fuentes energéticas más amigables con el medio ambiente dejando de lado el consumo de combustibles fósiles.

La misión principal del Estado es preparar al país para enfrentar los impactos futuros del cambio climático coordinando la aplicación de un conjunto de políticas públicas sectoriales que contribuyan al desarrollo sostenible, atendiendo los efectos económicos, sociales y ambientales de Chile. Si bien no existe una sola política pública que sea la solución para el cambio climático, se pueden combinar y construir paquetes de políticas consistentes con el desarrollo sostenible. Por ejemplo, fomentar el uso de energías renovables, biocombustibles o la creación de políticas fiscales ambientales, en donde se incluyan los impuestos sobre el CO<sub>2</sub> y combustibles fósiles, que apunten a la mitigación del cambio climático, cumpliendo un diseño prolijo sin dejar al margen el incumplimiento de la ley.

Por otra parte, el enfoque de energías limpias en Chile constituye una buena base para que el país oriente poco a poco su economía y la correspondiente demanda de energía hacia metas que reduzcan drásticamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, evitando la explotación de los recursos naturales y aprovechando la geografía que posee el país para el desarrollo de estas energías renovables.

La metodología aplicada para la medición de la huella de carbono visualizó las emisiones directas e indirectas inducidas en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> para 10 sectores, proporcionando una mirada más certera sobre los sectores económicos que alteran el ecosistema. Esta metodología resulto ser eficiente gracias a su relativa facilidad de comprensión, aplicación y disponibilidad de información requerida.

Los resultados obtenidos se desagregan de la siguiente manera, el 82% de las emisiones son generadas por las industrias y un 18% lo son generadas por las familias. Los sectores que emiten en la región en mayor magnitud, en función del consumo de 17 combustibles fósiles, son por parte de las industrias destaca el sector Transporte y comunicaciones, sector Industria manufacturera, por último, el sector Servicios personales. Por otra parte, según el consumo de energéticos proveniente de las familias, el principal sector que genera el mayor impacto en la región es el sector Electricidad, gas y agua, seguido de Transportes.

Esto da cuenta de los desafíos que enfrenta la región de Los Ríos a futuro, los cuales precisan la creación de instrumentos que persigan la preservación del medio ambiente, la generación de una política ambiental que constituya la base de un plan estratégico a largo plazo, valoración de los paisajes en sus dimensiones naturales y humanas, en torno a los recursos vinculados a la cuenca y finalmente, la identificación de zonas vulnerables incorporando el Cambio Climático como un agente de riesgo.

**Reconocimiento:** Este artículo se ha realizado dentro del Núcleo de Investigación en Evaluación y Mitigación de Riesgos Naturales y Antropogénicos en Chile (RiNA).

## **6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abdón Cifuentes, L., & Meza, F. J. (2018): *Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro Interdisciplinario de Cambio Global (CICG-UC).
- Banco Central de Chile (1996): *Matriz de insumo-producto de la economía chilena 1996*. Chile.
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Kwon RT, Laprise R, Magaña V, Mearns CG, Menendez CG, Raisanen J, Rinke A, Sarr A, Whetton P. (2007): *Regional Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, New York.

- Comision Nacional de Energía (2017): *Anuario estadístico de energía 2017. Ministerio de Energía, Santiago.*
- Comision Nacional de Energia, (2016): *Anuario estadístico de energía 2016. Ministerio de Energía, Santiago.*
- INE. (2017). Acceso <http://www.inelosrios.cl> 22 de 12 de 2017
- Labarca, C., & Guzmán, R. (2017): *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2013. Ministerio del Medio Ambiente , Departamento de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos, Santiago.*
- López, R., Accorsi, S., & Sturla, G. (2016): *Análisis sectorial de la huella de carbono para la economía chilena: un enfoque basado en la matriz insumo-producto. Universidad de Chile, Departamento de economía, Facultad de Economía y Negocios, Santiago.*
- Kanemoto, K., Moran, D., & Hertwich, E. G. (2016). "Mapping the carbon footprint of nations". *Environmental science & technology*, 50(19), 10512-10517.
- Malik, A., Lan, J., y Lenzen, M. (2016). "Trends in global greenhouse gas emissions from 1990 to 2010". *Environmental science & technology*, 50(9), 4722-4730.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions. Cambridge university press.*
- Ministerio de Energía (2017): *Propuesta de Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el Sector Energía, Chile.*
- Ministerio del Medio Ambiente (2017): *Plan de acción nacional de cambio climático 2017-2022. 252. Chile.*
- Miranda, J., Ramos, C., Reyes, R., Acum F. y Vidal, L. (2019): "La evolución económica de la región de Los Ríos desde su creación, a partir de un análisis Input-Output". *Revista Estudios de Economía Aplicada* 37(1):170-191.
- POCH (2017): *Actualización de la proyección de emisiones 2017-2030 y análisis medidas de mitigación de CO<sub>2</sub> equivalente. Generadoras de Chile, Santiago.*
- Padgett, P., A. Stenemann, J. Clarke & M.A. Vanderbergh (2008): "A Comparison of Carbon Calculators". *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 106:115.
- Ramos, C., Miranda, J., (2008): *Indicadores para el desarrollo: Una oportunidad para mirar la Región de Los Ríos. La matriz Insumo-Producto para la Región de Los Ríos: Una tarea pendiente. Indicadores para el desarrollo: Una oportunidad para mirar la Región de Los Ríos. INE - UACH. Valdivia. Chile. 59-88. Capítulo de Libro.*
- SENCE, UACH, OTIC SOFOFA (2018): *Reporte cuantitativo regional, Región de Los Ríos. Observatorio laboral de Los Ríos, Chile.*
- Turner, K., Lenzen, M., Wiedmann, T., & Barrett, J. (2007). "Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 1: A technical note on combining input–output and ecological footprint analysis". *Ecological Economics*, 62(1), 37-44.
- Universidad de Chile (2016): *Estado del medio ambiente en Chile, comparación 1999-2015. Instituto de Asuntos Públicos, Chile.*

## ANEXO 1

Matriz insumo producto de la región de Los Ríos 2016. Matriz 10x10.

Sectores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agropecuario-silvícola y pesca	58252	1227	143627	112	0	173	9	244	64	560
Minería	4234	24	419	1839	104	17	100	1	23	2
Industria Manufacturera	215596	410	458300	850	5008	27178	1164	6025	9954	3641
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	1789	939	1475	227	634	1857	2801	204	664	198
Construcción	282	0	1045	141	450	6255	1940	144	2558	431
Comercio, Restaurantes y hoteles	56813	1190	11725	1004	2323	43521	976	5126	32854	2925
Transporte, información y comunicaciones	19715	10607	16871	1532	7637	23690	1385	2091	20749	1022
Intermediación financiera, servicios empresariales y servicios de vivienda	9640	873	5995	646	16680	13081	2906	852	6286	1060
Servicios personales	525	1392	3720	1152	543	5955	111	237	4008	885
Administración pública	137	0	0	0	0	0	0	2	111	0

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Miranda et al. (2019)

## ANEXO 2

Vectores de producción final de bienes intermedios y demanda final para el año 2016. MIP de Los Ríos.

Sector	x (MM\$)	y (MM\$)
Agropecuario-silvícola y pesca	650.911	446.644
Minería	26.791	20.027
Industria Manufacturera	901.361	173.234
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	27.952	17.164
Construcción	195.497	182.252
Comercio, Restaurantes y hoteles	471.387	312.930
Transporte, información y comunicaciones	213.711	108.412
Intermediación financiera, servicios empresariales y Servicios de vivienda	109.827	51.807
Servicios personales	315.922	297.393
Administración pública	82.078	81.827

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Miranda et al. (2019)

## ANEXO 3

Distribución del consumo final de energéticos de la región de Los Ríos.

Fuentes energéticas	Porcentaje del consumo
Diésel	15%
GN y derivados	0%
GLP (gas licuado de petróleo)	2%
Electricidad	6%
Otros derivados del petróleo	5%
Biomasa	63%
Carbón y derivados	0%
Gasolinas y kerosene	9%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la CNE (2016).

## ANEXO 4

Factores de conversión. (kg CO<sub>2</sub> / Teracalorías)

<b>Combustible</b>	<b>Factor de Conversión</b>
<b>Petróleo combustible</b>	323842
<b>Diésel</b>	310034
<b>Gasolina motor</b>	289951
<b>Kerosene</b>	300830
<b>Gas licuado</b>	306687
<b>Gasolina aviación</b>	292880
<b>Kerosene aviación</b>	300830
<b>Nafta</b>	306687
<b>Gas refinería</b>	306687
<b>Carbón</b>	468608
<b>Coque</b>	447688
<b>Alquitrán</b>	292880
<b>Gas corriente</b>	240998
<b>Gas alto horno</b>	306687
<b>Gas natural</b>	234722
<b>Metanol</b>	296227
<b>Leña</b>	468608

Fuente: IPCC (2014)