

## Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia<sup>\*</sup>

## Emissions of greenhouse gases and key sectors in Colombia

*Gustavo Hernández\*\**

### ABSTRACT

The increase in temperature in the last 50 years has had serious effects in the economy, so it is necessary to take mitigation policies to reduce its effects. In this paper, an estimation of the emission multipliers is carried out through the input-output technique, which serves as another instrument for the evaluation and analysis of the different mitigation policy alternatives. The estimated multipliers allow us to observe which sectors have the greatest impact on greenhouse gases emissions, in order to carry out a characterization of the most efficient policies in each sector.

*Keywords:* Input-output matrix; chaining; greenhouse gas emissions. *JEL codes:* C67, Q50, Q58.

### RESUMEN

El incremento de la temperatura en los últimos 50 años ha tenido serios efectos sobre la economía, por lo cual es necesario tomar medidas de mitigación para atenuar sus efectos. En el presente trabajo se realiza un cálculo de multiplicadores de las emisiones mediante la técnica de insumo-producto, que sirve como un instru-

\* Artículo recibido el 25 de enero de 2019 y aceptado el 24 de agosto de 2020. El autor agradece los comentarios de Gabriel Piraquive, Jesús Otero y Mónica Parra. Las opiniones y errores son responsabilidad única del autor.

\*\* Gustavo Hernández, subdirector de Estudios Sectoriales y Regulación y de la Dirección de Estudios Económicos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), Bogotá, Colombia (correo electrónico: [ghernandez@dnp.gov.co](mailto:ghernandez@dnp.gov.co)).

mento más para la evaluación y el análisis de las diferentes alternativas de políticas de mitigación. Los multiplicadores estimados permiten observar cuáles son los sectores con mayor efecto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, y, además, realizar una caracterización de las políticas que pueden ser más eficientes en cada uno de ellos.

*Palabras clave:* matriz insumo-producto; encadenamientos; emisiones de gases de efecto invernadero. *Clasificación JEL:* C67, Q50, Q58.

## INTRODUCCIÓN

La temperatura a nivel global se ha incrementado durante los últimos 50 años, no solamente por las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sino también por otro tipo de gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con el Banco Mundial (2010), las actividades antropogénicas, en un escenario base, pueden incrementar la temperatura global en 5 °C más de lo que se ascendió en el periodo preindustrial, pero con las acciones adecuadas y en el momento correcto esto se puede restringir a 2 grados centígrados.<sup>1</sup>

En 1997 el protocolo de Kioto alcanzó un consenso entre países para tomar medidas de mitigación, y mostró que únicamente con acciones globales es posible alcanzar este objetivo. No obstante, el acuerdo perdió impulso ante el retiro de los Estados Unidos, el mayor emisor de GEI del mundo, que argumentó desacuerdos con las condiciones para la reducción de emisiones de países en desarrollo. Tras décadas de negociaciones, en diciembre de 2015 se adoptó el Acuerdo de París (COP21), dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y se establecieron medidas para la reducción de las emisiones de GEI.

En el marco de dicho acuerdo, cada uno de los países se comprometió a reducir sus emisiones de GEI respecto de un escenario base. Colombia se comprometió a reducir sus emisiones 20% en relación con las proyectadas hacia 2030. Esto es, si Colombia cumpliera con la meta propuesta, podría estar cerca de mantener el mismo nivel de emisiones actuales per cápita: 4.8 toneladas de  $\text{CO}_2$  eq/hab.

<sup>1</sup> En la COP de Cancún 2010 se llegó a un consenso político en el cual se decidió que la Tierra no debe calentarse más de 2 °C en relación con la temperatura preindustrial, ya que llegar más allá de este límite implicaría un desajuste climático de consecuencias imprevisibles y sin posibilidades de retorno.

Este compromiso se basa en los resultados de escenarios de mitigación, los cuales están compuestos por un paquete de medidas que ha identificado y cuantificado el gobierno nacional mediante la elaboración de curvas de costos marginales de abatimiento (MACC, por sus siglas en inglés: *marginal abatement cost curve*). Ahora bien, las MACC no consideran la interdependencia entre los sectores económicos objeto de las medidas ni los efectos que genera su ejecución.

En un trabajo previo, Álvarez et al. (2017) realizan una evaluación económica de los posibles costos y beneficios del compromiso nacional de reducción de GEI. Encuentran que el cumplimiento de dicho objetivo aumenta la tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB) en 0.15 puntos porcentuales respecto del PIB potencial para el periodo de 2020 a 2040. La presente investigación no realiza una simulación del efecto de las medidas, como el estudio antes mencionado, pero contribuye con el análisis de esta clase de políticas al presentar de manera sectorial las relaciones entre las emisiones de GEI y la estructura económica del país.

Ahora bien, como lo mencionan Alcántara, Padilla y Piaggio (2014), conocer el grado de interrelaciones entre los diferentes sectores económicos sirve como una guía sobre qué clase de políticas pueden implementarse y en qué sectores, así como sobre las posibles consecuencias intersectoriales. Con este objetivo es posible usar una estructura insumo-producto, con el fin de identificar los sectores con mayores encadenamientos que producirán más externalidades (Jones, 1976).

Extender esta metodología hacia la dimensión ambiental, particularmente a las emisiones de GEI, ayuda a entender cuáles sectores pueden generar más externalidades negativas o positivas como consecuencia de sus emisiones. Para alcanzar este objetivo, se tomaron los datos de cuentas nacionales del Departamento Nacional de Estadística (Dane), con el fin de construir una matriz insumo-producto (MIP) para 2012. La fuente para los datos de las emisiones fue el Inventario de GEI realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), para el mismo año. Como no existe una correlación entre los sectores que aparecen en el Inventario de GEI y los sectores de cuentas nacionales, ésta se construye en el presente estudio. De tal manera, puede establecerse una relación entre las dos fuentes de información, con el fin de realizar los cálculos de los coeficientes de emisiones, los cuales son la base del análisis para identificar sectores clave a escala ambiental y clasificar las políticas de mitigación.

Este trabajo se organiza de la siguiente forma: la sección I presenta las fuentes de información para la construcción de las bases de datos de los cálculos y las transformaciones que se realizaron; la sección II hace una descripción de la metodología utilizada, así como de la construcción de los indicadores; la sección III presenta y analiza los resultados encontrados. Finalmente, se realizan comentarios acerca del ejercicio.

## I. FUENTE DE DATOS

Para la elaboración de la MIP se toman los datos del Dane respecto de las matrices de oferta y utilización de 2012. No hay que olvidar que las emisiones son realizadas por la producción dentro del país. Por lo tanto, para el cálculo de la intensidad de emisiones por producción se tomó como referencia la producción nacional y no la total, ya que esta última incluye bienes de consumo intermedio importados, los cuales implicarían subestimar o sobreestimar los coeficientes de las emisiones, de acuerdo con la profundidad de los encadenamientos. Después, se emplea la matriz de utilización de productos nacionales, con el fin de no involucrar el componente importado del consumo intermedio, que no tiene relación con las emisiones de GEI del país. Ahora bien, debido a que en la matriz de oferta hay producción secundaria,<sup>2</sup> pueden encontrarse coeficientes insumo-producto negativos; con el objetivo de que no exista este problema, se sigue la metodología propuesta por Eurostat (2008)<sup>3</sup> para la construcción de una MIP.<sup>4</sup>

Hay dos fuentes de información para llevar a cabo el cálculo de la intensidad de emisiones a nivel sectorial. La primera está constituida por las cuentas ambientales de energía y emisiones que realiza el Dane,<sup>5</sup> y la segunda es el Inventario de GEI construido por el Ideam.<sup>6</sup> El cálculo de las emisiones resultantes en cada caso sigue metodologías completamente diferentes: el Dane cuantifica las emisiones resultantes a partir de los flujos en el sector energético,

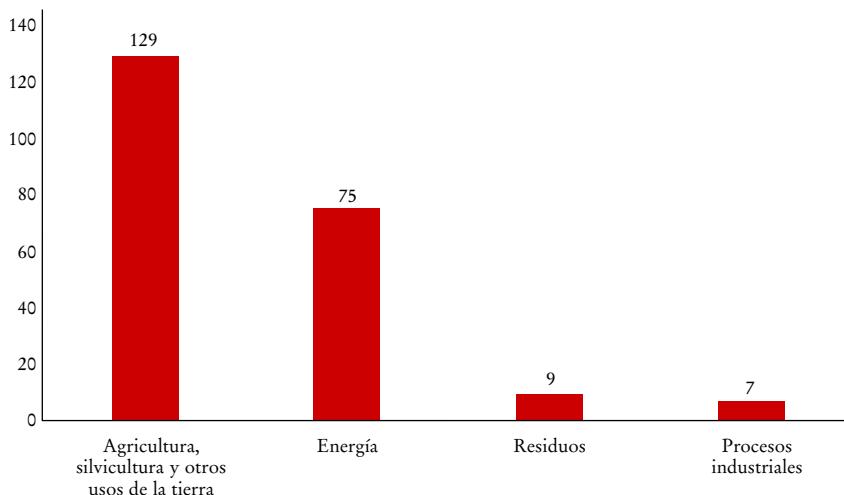
<sup>2</sup> Esto es, no se cumple con la hipótesis de homogeneidad sectorial para la MIP, donde cada insumo es suministrado por un solo sector de la producción.

<sup>3</sup> Véase sección II para más detalles.

<sup>4</sup> Una aplicación de esta metodología para Colombia puede consultarse en Hernández (2012).

<sup>5</sup> Para mayores detalles, consúltese la Cuenta Ambiental y Económica de Energía y Emisiones al Aire, en unidades físicas (Dane, s. f.).

<sup>6</sup> Para mayores detalles véase Ideam, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), DNP y Cancillería (2015).

GRÁFICA 1. *Emisiones para Colombia, 2012 (Mt CO<sub>2</sub>eq)*

FUENTE: cálculos elaborados por el autor, con base en el Ideam.

mientras que el Ideam se basa en la metodología del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cual toma en cuenta datos de actividad y factores de emisión.

Para los cálculos realizados en este trabajo se tomaron los datos del Inventario de GEI, ya que, además de considerar las emisiones de energía, se incluyen las realizadas por actividades de residuos; procesos industriales y uso de productos, y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Como puede observarse en la gráfica 1, las emisiones asociadas con los procesos del sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra son las más altas, ya que corresponden a 59% de las emisiones totales; por ello, al considerar únicamente las emisiones de energía (si se toman los datos del Dane), se estarían subestimando los efectos de las emisiones de GEI.

Ahora bien, las emisiones calculadas por el Ideam no corresponden con los sectores de cuentas nacionales del Dane, por lo que se procedió a realizar una correlación entre cada uno de los sectores desagregados del inventario de GEI del Ideam y de las cuentas nacionales (véase cuadro 1A del apéndice). No hay que olvidar que los sectores considerados en el Inventario de GEI hacen referencia a las emisiones de cada uno en el proceso productivo y no a las de la producción final de cada categoría. Con el fin de obtener las emi-

CUADRO 1. *Matriz insumo-producto*

|                        | n sectores productivos | Demanda final | Totales |
|------------------------|------------------------|---------------|---------|
| n sectores productivos | X                      | f             | x       |
| Insumos primarios      | v'                     |               |         |
| Totales                | x'                     |               |         |

FUENTE: adaptado de Hernández y Villamil (2016).

siones por sector y realizar estos cálculos,<sup>7</sup> se adaptan las metodologías utilizadas en Chile (Accorsi, López y Sturia, 2016) y México (Chatellier y Sheinbaum, 2017) para realizar estos cálculos. Esto es, estima una ponderación por el consumo intermedio nacional respecto de cada uno de los sectores de la economía asociados con los sectores del Ideam para las emisiones de: residuos; procesos industriales y uso de productos, y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. En el caso de los sectores energéticos (petróleo, carbón, electricidad, gas y refinados del petróleo) se tomó como base de la ponderación la matriz de utilización para las emisiones de energía del Dane, la cual tiene una correlación directa para los sectores de cuentas nacionales y los sectores energéticos.

## II. METODOLOGÍA

### 1. Encadenamientos de la producción

La MIP presenta de forma resumida las relaciones intersectoriales entre oferta y demanda, lo que permite identificar cuáles sectores tienen un mayor peso en la economía, o cómo los cambios de un sector afectan la oferta y la demanda de los demás o la economía en su conjunto.

Una representación de la MIP se encuentra en el cuadro 1, donde  $x$  representa el vector de producción bruta total. Esta matriz puede leerse verticalmente, de manera que la producción bruta es la suma de los insumos intermedios,  $X$ , más el valor agregado (factores),  $v'$ . Por filas se muestra cómo la producción se distribuye hacia la demanda intermedia  $X$  y la demanda final  $f$ .<sup>8</sup>

<sup>7</sup>Con base en el cuadro 1A.

<sup>8</sup>Antes de seguir, se hacen algunas aclaraciones sobre la notación. Los símbolos en cursivas se refieren

CUADRO 2. *Transformaciones de la MIP*

| Representación matricial   |  |                     |
|----------------------------|--|---------------------|
| <i>Enfoque de Leontief</i> | Matriz de coeficientes técnicos        | $A = X\hat{x}^{-1}$ |
|                            | Inversa de Leontief                    | $M = (I - A)^{-1}$  |
| <i>Enfoque de Ghosh</i>    | Matriz de coeficientes de asignaciones | $B = \hat{x}^{-1}X$ |
|                            | Inversa de Ghosh                       | $G = (I - B)^{-1}$  |

FUENTE: Hernández y Villamil (2016).

La ecuación básica del modelo de Leontief es:

$$x = Xe + y \quad (1)$$

Donde  $e$  representa el vector columna  $e = [1, \dots, 1]^T$ . En la matriz  $X$  se representan los flujos interindustriales del sistema. Si se realizan las transformaciones necesarias, podemos encontrar las matrices básicas para la construcción de los encadenamientos y los sectores clave para la economía:  $A$ ,  $M$ ,  $B$  y  $G$ , definidas en el cuadro 2, donde  $A$  es la matriz de coeficientes técnicos, esto es, las cantidades de insumos que un sector requiere para producir una unidad de producto;  $M$  es la matriz de requerimientos directos e indirectos para producir una unidad de producto;  $B$  es la matriz de participación en el mercado del sector (matriz de Ghosh), y  $G$  es la matriz inversa de Ghosh.

A partir de estas matrices, se caracterizan los sectores de acuerdo con los requerimientos de los insumos. Para esto es necesario obtener los encadenamientos tanto hacia atrás como hacia delante de la economía. Los primeros consideran todos los insumos necesarios para la producción del sector (cómo afecta la demanda), mientras que un encadenamiento hacia delante toma en cuenta todos los sectores en los cuales aquel en cuestión es utilizado como insumo (cómo afecta la oferta).

El método más utilizado para hacer las estimaciones de los encadenamientos es el de Rasmussen (1963). Sin embargo, aquí se utiliza un método

a matrices o vectores. En el caso de vectores, éstos se denotan con letras minúsculas y corresponden a columnas, a menos que explícitamente estén transpuestos, es decir, acompañados del símbolo ' $\prime$ ', mientras que las matrices se representan con letras mayúsculas. Finalmente, los símbolos con acento circunflejo ( $\wedge$ ) representan matrices diagonales con los elementos del vector correspondiente en la diagonal.

de “extracción hipotética”, ya que así se puede observar directamente cuál es el efecto de las emisiones sobre la economía, al considerar qué podría suceder si un sector no tuviera emisiones de GEI.

Para esto se utiliza el método propuesto por Cella (1984), el cual asume que los encadenamientos de un sector pueden calcularse al extraer los encadenamientos hacia atrás y hacia delante del sector —esto es, el sector no compra ni vende productos intermedios a los demás sectores de la economía— y analizar qué sucedería si ello se hiciera. Tal método fue luego modificado por Sonis, Guilhoto, Hewings y Martins (1995), quienes consideraron que, además de eliminar los eslabonamientos del sector, se debe extraer su demanda interna.

Luego, a partir de los encadenamientos normalizados, se utiliza la clasificación desarrollada por Hirschman (1961), con el fin de caracterizar las actividades de la economía en: sectores clave (que tienen fuertes encadenamientos hacia atrás y hacia delante:  $KS$ ), sectores de arrastre (con fuertes encadenamientos sólo hacia atrás:  $BL$ ), sectores impulsores (que cuentan con fuertes encadenamientos sólo hacia delante:  $FL$ ) y sectores de enclave (que tienen encadenamientos menores al promedio de la economía:  $LL$ ). Ahora bien, un sector clave ( $KS$ ) es aquel cuyos indicadores de encadenamientos normalizados son mayores que uno ( $BL > 1$  y  $FL > 1$ ).

## *2. Encadenamientos para las emisiones*

Se realiza un ejercicio similar de caracterización de los sectores, pero a partir de las emisiones (Alcántara, 2007); se considera una matriz  $C$  de emisiones de GEI en unidades de  $\text{CO}_2$  equivalente, de tal manera que:

$$C = \hat{c}x \quad (2)$$

donde  $c$  es un vector de coeficientes que representa las emisiones por unidad de producto. Al realizar las transformaciones necesarias tenemos:

$$C = \hat{c}(I - A)^{-1}f \quad (3)$$

$$C = \hat{c}Mf \quad (4)$$

Nuevamente, los encadenamientos que involucran las emisiones son calculados de acuerdo con el método de “extracción hipotética”, es decir,

se considera qué sucedería si las emisiones no son realizadas por el sector (Zhao et al., 2015).

Por otra parte, los encadenamientos de las emisiones pueden descomponerse en dos efectos: 1) directos, las emisiones correspondientes a su propio proceso productivo, y 2) indirectos, las realizadas por los procesos productivos de los insumos. Esta distinción es muy importante en el momento de diseñar diferentes tipos de políticas de adaptación o mitigación, ya que orienta sobre los posibles efectos que cada una de las acciones puede tener.

De acuerdo con Alcántara et al. (2014), la descomposición de los encadenamientos de las emisiones hacia atrás o hacia delante puede realizarse al sustraer los elementos de la diagonal de las matrices  $\hat{c}M$  y  $\hat{c}G$ , respectivamente. Entonces, el componente directo del encadenamiento hacia atrás es igual a:

$$\mu_{BL^e}^{directo} = \sum_{i=1}^n \hat{c}M_{ij} \quad (5)$$

y el componente indirecto del encadenamiento hacia atrás es igual a:

$$\mu_{BL^e}^{indirecto} = \sum_{i \neq j} \hat{c}M_{ij} \quad (6)$$

De la misma forma, puede descomponerse el encadenamiento en el sentido opuesto. Entonces, el componente directo del encadenamiento hacia delante es igual a:

$$\mu_{FL^e}^{directo} = \sum_{i=1}^n \hat{c}G_{ij} \quad (7)$$

y el componente indirecto del encadenamiento hacia atrás es igual a:

$$\mu_{FL^e}^{indirecto} = \sum_{i \neq j} \hat{c}G_{ij} \quad (8)$$

En el cuadro 3 se observan las definiciones de cada uno de los indicadores.

Si se considera la descomposición de cada encadenamiento (efectos directos e indirectos), se puede observar cómo la misma política de mitigación y adaptación puede tener resultados completamente diferentes por las características de los encadenamientos del sector. Por otra parte, esta descomposición ayuda a determinar el objetivo de política, es decir, si en un sector es mejor realizar un tipo de política focalizada o transversal. En el

CUADRO 3. *Descomposición de los encadenamientos ambientales<sup>a</sup>*

| <i>Encadenamiento</i> | <i>Efecto directo</i>   | <i>Efecto indirecto</i>   |
|-----------------------|---|---|
| Hacia atrás           | Cómo variaciones en la demanda final de los productos de un sector afectan las emisiones del mismo sector.<br>$i$ (demanda) → $i$ (emisiones) | Cómo variaciones en la demanda final de los productos afectan las emisiones en otros sectores.<br>$i$ (emisiones) → $j$ (demanda) |
| Hacia delante         | Cómo variaciones en la producción de un sector afectan las emisiones en el mismo sector.<br>$i$ (producción) → $i$ (emisiones)                | Cómo variaciones en la producción de un sector afectan las emisiones de otros sectores.<br>$i$ (producción) → $j$ (emisiones)     |

<sup>a</sup>  $i$  representa el sector analizado y  $j$  representa los otros sectores.

FUENTE: adaptado de Alcántara, Del Río y Hernández (2010).

cuadro 4 se presenta de manera resumida la relación entre los encadenamientos y las acciones de política que pueden llevarse a cabo.

En el caso de que un sector tenga un componente directo muy alto (hacia atrás y hacia delante), una política focalizada en éste tendrá un mayor éxito en la reducción de las emisiones, pero sería ineficaz si el componente indirecto fuera dominante, ya que las emisiones asociadas se deben a los procesos productivos de los insumos que utiliza o a su consumo intermedio. En el caso de que el componente indirecto hacia delante domine a los demás, las políticas son transversales, ya que reducen las emisiones de los sectores asociados con su oferta. Por otra parte, si se considera el caso en que el encadenamiento hacia atrás es muy alto —sectores que no son directamente responsables por las emisiones de GEI, sino que emiten GEI por la utilización de los insumos en su proceso de producción—, las políticas sobre la demanda tendrían mayor efectividad sobre la reducción de las emisiones.

### III. RESULTADOS

De acuerdo con la clasificación de Hirschman (1961), se puede realizar la clasificación sectorial de la economía. Distintos trabajos (Vega, 2008; Flórez, 2012; Hernández, 2012; Hernández y Villamil, 2016) han realizado el mismo ejercicio para la estructura sectorial colombiana mediante la identificación de sectores clave. Los resultados pueden diferir por tres razones: el nivel de agregación de los sectores, la metodología para la construcción de la MIP y, por supuesto, el año de referencia para los cálculos.

CUADRO 4. *Encadenamientos y políticas de mitigación*

| <i>Si los sectores muestran altos...</i>                 | <i>Tipo de políticas:</i>   |
|--|---|
| ... encadenamientos directos hacia delante y hacia atrás | Medidas sectoriales disminuyen el uso de recursos o la degradación ambiental. |
| ... encadenamientos indirectos hacia delante             | Políticas intersectoriales (transversales).                                   |
| ... encadenamientos indirectos hacia atrás               | Políticas desde el lado de la demanda.  |

FUENTE: Alcántara et al. (2014).

Vega (2008) encuentra que la poca transformación de la estructura productiva durante la apertura económica tuvo precarios encadenamientos productivos y una ausencia de sectores clave. Flórez (2012) demuestra que la agenda de competitividad del Valle del Cauca se enfoca en sectores de fuerte arrastre, lo que es compatible con las metas planteadas por el gobierno para 2032. Por otra parte, a escala nacional, Hernández (2012) construye una matriz insumo-producto para 2007 en la cual se observan fuertes encadenamientos entre sectores como petróleo, químicos, plásticos, electricidad y gas, así como transporte y comunicaciones. Finalmente, Hernández y Villamil (2016), con base en datos para 2005, hacen un cálculo ponderado y recursivo de los encadenamientos hacia delante y hacia atrás.<sup>9</sup> Encuentran que, de los 61 sectores en cuentas nacionales, destacan 11 como sectores clave.

En este trabajo, para 2012, se observa que de los 61 sectores 16 pueden considerarse clave, 13 tienen fuertes encadenamientos hacia atrás y 17 los tienen hacia delante (cuadro 5). Ahora bien, los sectores clave representan 9.6% del PIB de la economía y emplean 12.4% de la fuerza laboral, mientras que los 14 sectores de enclave generan casi la mitad del valor agregado de la economía (46.7%) y emplean 39.6% de toda la fuerza laboral (véase sección 2 del apéndice).

Los sectores clave se concentran en los industriales, mientras que los sectores de industria basada en recursos naturales y mano de obra no calificada, el transporte en su mayoría, los sectores de construcción y obras civiles, así como los agroindustriales tienen fuertes encadenamientos hacia atrás. En sectores clave se destacan: transporte terrestre, químicos, minerales metálicos procesados, molinería, y caucho y plástico. Éstos tienen los mayores encadenamientos hacia delante y hacia atrás; contribuyen, en conjunto, a la generación de 6.5% del valor agregado de la economía, y aportan 9.3% del total del

<sup>9</sup> Metodología planteada por Dietzenbacher (1992).

CUADRO 5. *Caracterización sectorial de la economía*

|                                      | <i>Número de sectores</i> | <i>Porcentaje en la producción</i> | <i>Porcentaje en el valor agregado</i> | <i>Porcentaje en el empleo</i> |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|
| <i>Sectores clave</i>                | 16                        | 14.5%                              | 9.6%                                   | 12.4%                          |
| <i>Encadenamientos hacia delante</i> | 17                        | 21.6%                              | 16.4%                                  | 18.6%                          |
| <i>Encadenamientos hacia atrás</i>   | 13                        | 24.6%                              | 27.3%                                  | 29.3%                          |
| <i>Sectores enclave</i>              | 14                        | 39.4%                              | 46.7%                                  | 39.6%                          |

FUENTE: cálculos propios.

empleo. Obras civiles, construcción y turismo en conjunto son los sectores que tienen encadenamientos hacia atrás más profundos: generan 12.2% del valor agregado de la economía y contratan 12.1% de la fuerza laboral.

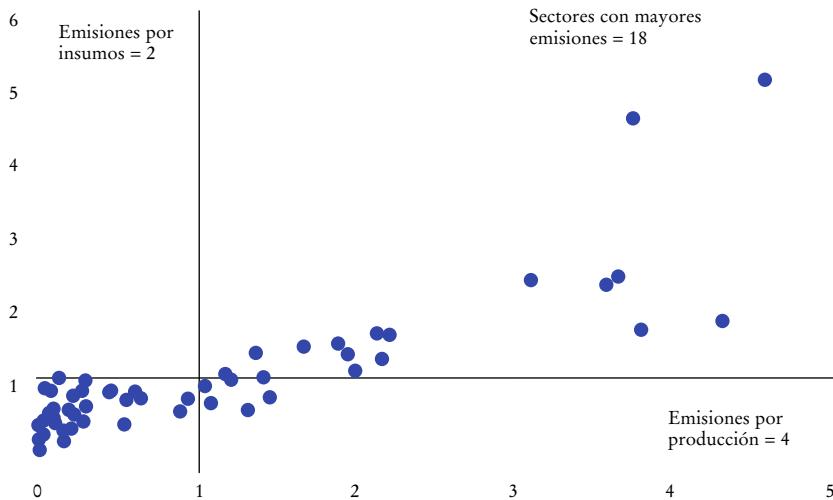
En cuanto a la clasificación sectorial a partir de las emisiones (véanse gráfica 2 y cuadro 6), se encuentra que de los 59 sectores<sup>10</sup> 35 tienen emisiones por debajo del promedio, son responsables de 69.1% del PIB y emiten 14.3% del total de GEI. Es decir, muchos de los sectores económicos dentro de la compra de insumos o la elaboración de los productos no generan emisiones mayores al promedio. Por otra parte, de los 24 sectores restantes, se identifican 18 como los mayores emisores de GEI dentro de la economía, pues son responsables de 69.9% de las emisiones. Destacan: transporte terrestre, químicos, molinería, otro transporte, caucho y plástico y transporte aéreo, los cuales representan 6.3% del PIB y, adicionalmente, son sectores clave, de acuerdo con la clasificación sectorial realizada a partir de la estructura económica del país.

Los sectores con mayores emisiones de GEI producen una quinta parte del PIB y emplean más de un tercio de la fuerza laboral del país (35.6%). Se concentran en la ganadería, algunos agroindustriales, y transporte y electricidad (véase sección 3 del apéndice). Los sectores que deben sus emisiones a su proceso productivo no tienen una gran participación en el valor agregado (0.6%) ni el empleo (0.4%), pero son responsables de una cantidad importante de las emisiones del país (15.5%, es decir, 1% del total nacional).

En Colombia la matriz energética es bastante limpia, ya que hay una alta dependencia de las hidroeléctricas, por lo que se esperaría que no tengan

<sup>10</sup> El sector de reciclaje fue eliminado porque no tiene valor agregado ni producción, mientras que el sector de servicio doméstico no presenta emisiones.

GRÁFICA 2. Caracterización sectorial por emisiones



FUENTE: cálculos propios.

emisiones de GEI o fueran bajas. Sin embargo, éste es uno de los sectores con mayores emisiones promedio para la economía, ya que aporta 6.9% del total. Esto se explica porque el consumo de total de energía es altamente dependiente del petróleo y el gas, como señala Corredor (2018), y se encuentra dentro del clúster minero-energético —véase Hernández y Villamil (2016)—, al cual, además, lo conforman los sectores de refinados del petróleo, gas y transporte, que generan grandes emisiones de GEI (16.7% del total). Como se puede ver en conjunto, esto muestra la urgencia de que las políticas del sector energético conduzcan a una transición a energías renovables —que tienen menores emisiones— para eliminar la dependencia energética del petróleo y gas.

Debido a que el clúster agroindustrial genera una cantidad importante del empleo de la economía (26.2%), aunque tiene un bajo encadenamiento con el resto, el impulso del sector es prioritario para la economía colombiana (Hernández y Villamil, 2016). Dentro de este clúster se encuentran los sectores agrícola y ganadero, que participan con 14.2% del total de emisiones de GEI, además del de alimentos procesados y hotelería y turismo. Entonces, políticas encaminadas a estimular los sectores que producen los bienes al final de la cadena productiva del sector incrementan las emisiones de manera

CUADRO 6. *Caracterización sectorial de acuerdo con las emisiones*

|                                   | Número de sectores | Porcentaje en la producción | Porcentaje en el valor agregado | Porcentaje en el empleo | Porcentaje en las emisiones de GEI |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Mayores emisiones que el promedio | 18                 | 26.6%                       | 25.1%                           | 35.6%                   | 69.9%                              |
| Emisiones por insumos             | 2                  | 2.4%                        | 0.5%                            | 0.7%                    | 0.2%                               |
| Emisiones por producción          | 4                  | 1.4%                        | 0.6%                            | 0.4%                    | 15.5%                              |
| Emisiones por debajo del promedio | 35                 | 69.1%                       | 72.9%                           | 59.6%                   | 14.3%                              |

FUENTE: cálculos propios.

indirecta. Por ello, éstas deberían tener en cuenta un manejo del clúster más integral. Por ejemplo, a la par de estimular el turismo, deberían diseñarse políticas para el desarrollo de productos agrícolas sostenibles y de un mejor uso de la tierra por parte de la ganadería.

Al comparar los resultados encontrados con los de otros países, se encuentra que hay una mayor dispersión sectorial de las emisiones, esto es, hay más sectores contaminantes, aunque los responsables de éstas son bastante similares (agricultura y ganadería, electricidad y transporte). Ruiz Nápoles (2014) identifica los más contaminantes para Argentina y Brasil. En Argentina encuentra que, de los 94 sectores que componían la MIP en 1997, 12 son los más contaminantes: agricultura; ganadería; electricidad; transporte terrestre de carga; transporte terrestre de pasajeros; servicios personales (incluyendo servicio doméstico); gas; servicios de saneamiento; productos de plástico; extracción de minerales metálicos; cemento, cal y yeso; extracción de petróleo, gas, carbón y uranio. Para realizar los cálculos de Brasil, utiliza una MIP con datos de 2009 y 56 sectores; encuentra que los ocho sectores más contaminantes son: agricultura, silvicultura y explotación forestal; ganadería y pesca; piezas y accesorios para vehículos automotores; salud privada; automóviles y camionetas; construcción, electricidad y gas; agua, cloaca y limpieza urbana; fabricación de acero y derivados.

Más recientemente para la economía brasileña, Barreiro, De Santana y Perobelli (2016), mediante una MIP construida por la World Input-Output Database (WIOD) para 2009 con 56 sectores, encuentran resultados muy similares, ya que las mayores emisiones se concentran en ocho de ellos: ganadería; transporte y comunicaciones; industrias del acero y sus derivados;

refinados del petróleo; cemento; agricultura y silvicultura; extracción de otros minerales, y extracción de petróleo y gas natural.

Por otra parte, en México, Ruiz Nápoles (2012) calcula que, de los 79 sectores que tiene la MIP para 2008, 15 son los más contaminantes en la economía mexicana. Entre ellos se encuentran: electricidad; industrias de hierro y acero; transporte de carga; extracción de petróleo y gas natural; silvicultura; minería; transporte (de pasajeros, aéreo, acuático y por rieles). Posteriormente, Chatellier y Sheinbaum (2017) construyen una MIP de 26 sectores para 2012, con el fin de compatibilizar aquellos productivos de cuentas nacionales y del Balance Nacional Energético. Encuentran que las mayores emisiones se concentran en siete sectores: transporte terrestre, electricidad, industria de bebidas, industria de hierro y acero, comercio, extracción de petróleo y gas natural y transporte aéreo.

En el caso de Chile encontramos el trabajo de Gallardo y Mardones (2013), quienes para 2008 construyen una MIP y una matriz de contabilidad social ambiental con 38 sectores de la economía. De éstos identifican los nueve más contaminantes: transporte de pasajeros, construcción, comercio y hoteles, industrias de metales básicos, electricidad, industrias de alimentos, acuicultura, pula de papel y cobre. Accorsi et al. (2016) construyen una MIP de 12 sectores, con el fin utilizar una serie de emisiones sectoriales compatible con el Balance Nacional Energético; encuentran que los sectores de industria y transporte son los que más emiten; ahora bien, dado el tamaño de la agregación es imposible tener más detalles a escala sectorial.

Finalmente, en relación con Uruguay, Alcántara et al. (2014) realizan una MIP con 56 sectores para 2005. En este caso las mayores emisiones se concentran en 14 sectores: ganadería; silvicultura; transporte terrestre, aéreo y acuático; desperdicios y desechos; carne procesada; lácteos; hoteles y restaurantes; industrias del cuero; textiles; cereales; servicios de electricidad, gas y agua; industria automotriz; refinados del petróleo, e intermediación financiera.

Siguiendo con el análisis, al realizar la descomposición propuesta por Alcántara et al. (2014) con el fin de identificar las políticas de mitigación y abatimiento más eficientes por sector en Colombia, se encuentra que, para una reducción más efectiva de las emisiones de GEI, los sectores con mayor impacto sobre ellas necesitarían medidas focalizadas en cada uno de éstos —es decir, medidas sectoriales—, como la adopción de tecnologías más limpias. De acuerdo con el cuadro 7, en el caso de los sectores clave las políticas sectoriales focalizadas parecerían ser las más apropiadas con base en esta cla-

CUADRO 7. *Encadenamientos y políticas*

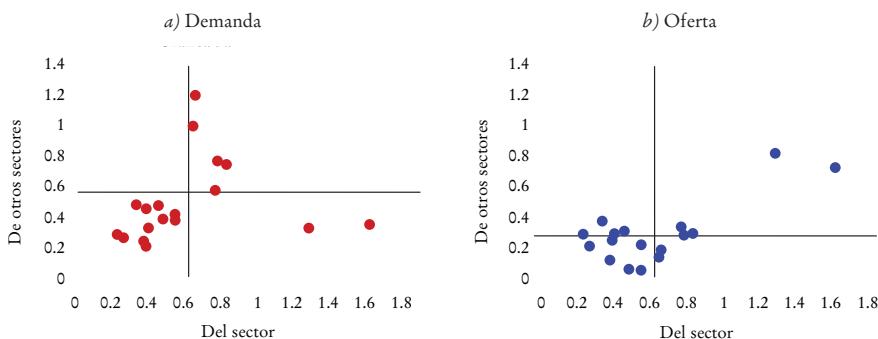
|  | <i>Sectores</i>                   | <i>Políticas sectoriales</i> | <i>Políticas intersectoriales</i> | <i>Políticas de demanda</i> |
|--|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Mayores emisiones</i>                   | Transporte terrestre              |                              |                                   | •                           |
|  | Químicos                          | •                            |                                   |                             |
|  | Molinería                         | •                            |                                   |                             |
|  | Otros transportes                 |                              | •                                 |                             |
|  | Caucho y plástico                 |                              | •                                 |                             |
|  | Transporte aéreo                  | •                            |                                   |                             |
|  | Papel y cartón                    |                              | •                                 |                             |
|  | Madera procesada                  |                              |                                   | •                           |
|  | Transporte acuático               | •                            |                                   |                             |
|  | Ganadería                         | •                            |                                   |                             |
|  | Energía eléctrica                 | •                            |                                   |                             |
|  | Refinados de petróleo             | •                            |                                   |                             |
|  | Agrícolas                         | •                            |                                   |                             |
|  | Mantenimiento y reparaciones      |                              |                                   | •                           |
|  | Minerales no metálicos procesados |                              |                                   | •                           |
|  | Carne y pescado                   | •                            |                                   |                             |
|  | Lácteos                           | •                            |                                   |                             |
|  | Otros textiles                    | •                            |                                   |                             |
| <i>Emisiones a partir de los insumos</i>   | Azúcar procesada                  |                              | •                                 |                             |
|  | Cuero y calzado                   |                              | •                                 |                             |
| <i>Emisiones a partir de la producción</i> | Servicios empresariales           |                              |                                   | •                           |
|  | Agua                              |                              |                                   | •                           |
|  | Minerales no metálicos            |                              |                                   | •                           |
|  | Comercio                          | •                            |                                   |                             |

FUENTE: cálculos con base en el cuadro 4.

sificación (cuadro 4), lo cual coincide con la composición sectorial de las medidas de mitigación identificadas por el gobierno nacional para los compromisos de COP21.<sup>11</sup> Éstos muestran que 72% de las inversiones está orienta-

<sup>11</sup> El portafolio de medidas de mitigación está conformado por 71 disposiciones cuyo valor por tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) es inferior a 20 dólares de 2010 (MADS, 2015: 3).

GRÁFICA 3. Sectores más contaminantes



FUENTE: cálculos propios.

tado al sector transporte (excluyendo el parque automotor privado), mientras 16% está destinado al sector agropecuario (Álvarez et al., 2017).

Como se vio anteriormente, los encadenamientos de las emisiones pueden descomponerse en un encadenamiento directo (asociado sólo al sector) y un efecto indirecto (asociado a los otros sectores con que se relaciona), tanto hacia atrás (demanda) como hacia delante (oferta), lo cual se puede representar como en la gráfica 3. En este caso se concentra el análisis en los sectores identificados como más contaminantes.

Desde el lado de la demanda, se puede destacar transporte (terrestre y acuático) y ganadería, ya que producen una gran cantidad de emisiones por su proceso productivo, lo que implicaría que medidas efectivas de mitigación o adaptación se verían reflejadas en una disminución importante de las emisiones del país. Por otra parte, en el lado de la oferta, se puede mencionar que los sectores con más altos encadenamientos directos son ganadería y procesos agroindustriales, lo cual implica que mejoramientos en su proceso productivo (cambio tecnológico) llevarían a una disminución de las emisiones vía su oferta hacia los otros sectores.

La descomposición de los encadenamientos puede ayudar con la discusión del diseño de una clase de política. Por ejemplo, como parte de las estrategias para cumplir los compromisos de reducción de GEI, Colombia instauró en 2016 un impuesto al carbono sujeto al uso de combustibles fósiles, con el fin de desincentivar su uso. Dicho impuesto se cobra por la compra directa del tipo de combustible; sin embargo, este tipo de impuesto podría ser más efec-

tivo en la reducción de emisiones si gravara el sector de acuerdo con la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente que contenga incorporada una unidad producida (Accorsi et al., 2016). Como se ha visto en los cálculos de los encadenamientos, hay sectores que generan más emisiones por la producción de los insumos utilizados que en el proceso productivo del sector (por ejemplo, agricultura y transporte). Ahora bien, la implementación de este diseño impositivo tiene grandes requerimientos de información, tanto a escala de *enforcement* como de los datos para los cálculos sectoriales de las emisiones.

#### IV. COMENTARIOS FINALES

Los efectos del cambio climático sobre la economía han cobrado gran relevancia durante los últimos 30 años; por esta razón, la evaluación de las diferentes alternativas de política de mitigación y adaptación con distintas herramientas cada vez es más importante. Hay que considerar que uno de los determinantes para la efectividad de las políticas es el grado de interrelación entre los diferentes sectores de la economía, por lo cual estimaciones que permitan medir dichas interrelaciones son importantes para el análisis de política ambiental.

Dentro de las herramientas que pueden utilizarse para evaluar y analizar los diferentes aspectos de política, si se consideran las características sectoriales de la economía, se encuentran los modelos de equilibrio general computable (MEGC) y las MIP. En este trabajo se utilizó la segunda metodología con el fin de construir multiplicadores para identificar cuáles son los sectores que más emiten GEI, desde la demanda y la oferta, así como sus implicaciones de política.

Se tomaron en cuenta varios factores al interpretar los resultados. Para la realización del ejercicio se hizo una correlación entre los procesos productivos del Ideam y los sectores de cuentas nacionales, la cual puede mejorarse mientras más información se tenga de ambas partes. Con base en lo anterior, y como con todos los ejercicios de clasificación sectorial con MIP, mientras mayor sea la desagregación productiva, los resultados de la clasificación sectorial podrán llegar a cambiar. Finalmente, se consideró que el grado de agregación de las cuentas nacionales —la clasificación de las políticas realizada es para el promedio del sector y a nivel más desagregado— debía reparar en las características de la industria sobre la cual se realizó el análisis.

Como se puede observar con este ejercicio, en el momento de hacer política sectorial es importante tomar en cuenta, además de su efecto multiplicador, sus posibles repercusiones sobre el medio ambiente, en este caso, las emisiones de GEI. Aquí se encuentra cómo varios de los sectores clave que se pueden identificar para la economía (nueve de 16 sectores), con la clasificación de Hirschman, también pueden ser responsables de las mayores emisiones en el país.

Considerar sólo la intensidad de las emisiones de GEI (emisiones/producción) puede llevar a subestimar o sobreestimar la efectividad de una política de adaptación y mitigación, ya que no se repara en su efecto multiplicador sobre la estructura económica, esto es, el efecto multiplicador de las emisiones. Aquí se identifica el efecto tanto directo como indirecto de las emisiones en el proceso productivo, al considerar los impactos que tienen la demanda de los insumos y la producción sectorial sobre la oferta de la economía.

Como se comentó anteriormente, los resultados de los ejercicios pueden ser utilizados en diferentes ámbitos con el fin de que el diseño de la política integre la sostenibilidad de los sectores en términos ambientales. Para esto se mostraron tres ejemplos a lo largo de los resultados: 1) se puede tener una mejor comprensión de un sector —como se señaló en el caso de la energía— con el fin de llevar a la formulación de políticas de mejora de su desempeño en términos de emisiones; 2) se explicó cómo hacer que una política sea más integral al tomar en cuenta sus consecuencias sobre el medio ambiente, con base en una de estímulo al sector turístico; 3) finalmente, se demostró cómo los resultados de los encadenamientos de las emisiones pueden ayudar en el diseño de los impuestos ambientales.

## APÉNDICE

## 1. Correlación para la construcción de las emisiones sectoriales

CUADRO 1A. Correlación entre los procesos de GEI y cuentas nacionales<sup>a</sup>

| <i>Procesos productivos GEI</i>  | <i>Códigos cuentas nacionales</i>   |
|--|---|
| <i>1. Energía</i>  |   |
| <i>a) Actividades de quema de combustible</i>  | Generación, captación y distribución de energía eléctrica; sectores 10 a 37, 41 y 42, ponderados por la producción, y transporte por vía terrestre. |
| <i>Procesos productivos GEI</i>  |   |
| <i>b) Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustible</i>            | Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear; sectores 27 y 39, ponderados por la producción.          |
| <i>2. Procesos industriales y uso de productos</i>                                     |   |
| <i>a) Industria de los minerales</i>   | Productos minerales no metálicos.   |
| <i>b) Industria química</i>  | Sustancias y productos químicos.  |
| <i>c) Industria de los metales</i>   | Productos metalúrgicos básicos (excepto maquinaria y equipo).   |
| <i>d) Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente</i>                | Productos de la refinación del petróleo; combustible nuclear.   |
| <i>e) Industria electrónica</i>  | Otra maquinaria y suministro eléctrico.   |
| <i>f) Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono</i>    | Industrias manufactureras n. c. p.  |
| <i>b) Otros</i>  | Productos de papel, cartón y sus productos; sectores 10 a 18, ponderados por la producción.   |
| <i>3. Agricultura, silvicultura, y otros usos de la tierra</i>                         |   |
| <i>a) Ganadería</i>  | Producción pecuaria y caza, incluye las actividades veterinarias.   |
| <i>b) Tierra</i>   | Cultivo de otros productos agrícolas; producción pecuaria y caza, incluye las actividades veterinarias.   |
| <i>c) Fuentes agregadas y emisiones de CO<sub>2</sub> eq provenientes de la tierra</i> | Cultivo de otros productos agrícolas.   |
| <i>d) Otros</i>  | Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas.  |
| <i>4. Residuos</i>   | Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares.  |

<sup>a</sup>No son considerados los elementos recordatorios.

FUENTE: elaboración propia con base en el Ideam y las cuentas nacionales (metodología de 2005).

## 2. Caracterización sectorial de la economía

**CUADRO 2A. Caracterización de los sectores clave<sup>a</sup>**

| Sectores                       | Encadenamientos |               | Participación en la producción | Participación en valor agregado | Participación en el empleo |
|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|                                | Hacia atrás     | Hacia delante |                                |                                 |                            |
| Transporte terrestre           | 1.802           | 2.033         | 3.3%                           | 2.7%                            | 6.2%                       |
| Químicos                       | 1.768           | 1.759         | 2.4%                           | 1.5%                            | 0.6%                       |
| Minerales metálicos procesados | 1.761           | 1.643         | 1.8%                           | 1.1%                            | 0.7%                       |
| Molinería                      | 1.932           | 1.747         | 1.5%                           | 0.8%                            | 1.5%                       |
| Caucho y plástico              | 2.055           | 2.446         | 0.7%                           | 0.4%                            | 0.4%                       |
| Papel y cartón                 | 1.904           | 2.230         | 0.7%                           | 0.3%                            | 0.2%                       |
| Otros transportes              | 1.704           | 2.818         | 0.7%                           | 0.6%                            | 1.2%                       |
| Transporte aéreo               | 1.873           | 1.823         | 0.6%                           | 0.4%                            | 0.1%                       |
| Impresiones                    | 1.895           | 2.146         | 0.6%                           | 0.4%                            | 0.4%                       |
| Gas                            | 1.958           | 1.757         | 0.5%                           | 0.3%                            | 0%                         |
| Aceites                        | 1.870           | 1.816         | 0.5%                           | 0.2%                            | 0.1%                       |
| Maquinaria y equipo            | 1.880           | 1.632         | 0.4%                           | 0.3%                            | 0.2%                       |
| Equipos de oficina             | 2.053           | 2.049         | 0.4%                           | 0.2%                            | 0.2%                       |
| Madera procesada               | 1.854           | 2.158         | 0.2%                           | 0.2%                            | 0.4%                       |
| Textiles                       | 1.752           | 2.138         | 0.2%                           | 0.1%                            | 0.2%                       |
| Transporte acuático            | 1.957           | 1.979         | 0.1%                           | 0%                              | 0.1%                       |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción.

FUENTE: elaboración propia.

**CUADRO 3A. Caracterización de los sectores con encadenamientos hacia delante (continúa)**

| Sectores                | Encadenamientos |               | Participación en la producción | Participación en el valor agregado | Participación en el empleo |
|-------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                         | Hacia atrás     | Hacia delante |                                |                                    |                            |
| Servicios empresariales | 1.267           | 2.672         | 5.4%                           | 6.8%                               | 7.5%                       |
| Financiero              | 1.295           | 1.798         | 4.5%                           | 5.2%                               | 1%                         |
| Refinados de petróleo   | 1.535           | 1.805         | 2.9%                           | 2.7%                               | 0%                         |
| Energía eléctrica       | 1.238           | 1.698         | 2.8%                           | 2.4%                               | 0.1%                       |
| Agrícolas               | 1.344           | 1.633         | 2.5%                           | 3.2%                               | 10.4%                      |
| Ganadería               | 1.593           | 1.899         | 2.1%                           | 2.2%                               | 3.7%                       |

**CUADRO 3A. Caracterización de los sectores con encadenamientos hacia delante<sup>a</sup> (concluye)**

| Sectores                     | Encadenamientos<br>Hacia<br>atrás | Hacia<br>delante | Participación<br>en la<br>producción | Participación<br>en el valor<br>agregado | Participación<br>en el empleo |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| Mantenimiento y reparaciones | 1.549                             | 2.540            | 1.2%                                 | 1.3%                                     | 2%                            |
| Minerales metálicos          | 1.516                             | 2.410            | 0.6%                                 | 0.7%                                     | 0.4%                          |
| Agua                         | 1.463                             | 2.211            | 0.4%                                 | 0.5%                                     | 0.1%                          |
| Café                         | 1.167                             | 2.035            | 0.4%                                 | 0.6%                                     | 3%                            |
| Minerales no metálicos       | 1.301                             | 2.405            | 0.3%                                 | 0.4%                                     | 0.3%                          |
| Silvicultura                 | 1.253                             | 2.007            | 0.1%                                 | 0.2%                                     | 0.3%                          |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción.

FUENTE: elaboración propia.

**CUADRO 4A. Caracterización de los sectores con encadenamientos hacia atrás<sup>a</sup>**

| Sectores                       | Encadenamientos<br>Hacia<br>atrás | Hacia<br>delante | Participación<br>en la<br>producción | Participación<br>en el valor<br>agregado | Participación<br>en el empleo |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| Obras civiles                  | 1.794                             | 1.132            | 4.7%                                 | 4%                                       | 2%                            |
| Construcción                   | 1.692                             | 1.083            | 4.6%                                 | 4.7%                                     | 4.6%                          |
| Turismo                        | 1.903                             | 1.276            | 4.2%                                 | 3.5%                                     | 5.5%                          |
| Carne y pescado                | 2.397                             | 1.255            | 1.7%                                 | 0.3%                                     | 0.4%                          |
| Tejidos                        | 1.780                             | 1.106            | 1.2%                                 | 0.8%                                     | 2.0%                          |
| Bebidas                        | 1.820                             | 1.369            | 1%                                   | 0.9%                                     | 0.3%                          |
| Lácteos                        | 2.388                             | 1.217            | 0.7%                                 | 0.2%                                     | 0.3%                          |
| Automóviles                    | 2.116                             | 1.238            | 0.5%                                 | 0.2%                                     | 0.3%                          |
| Trilla                         | 1.953                             | 1.075            | 0.5%                                 | 0.1%                                     | 0%                            |
| Otros alimentos                | 2.060                             | 1.270            | 0.4%                                 | 0.2%                                     | 0.1%                          |
| Muebles                        | 2.014                             | 1.227            | 0.4%                                 | 0.2%                                     | 0.9%                          |
| Esparcimiento de no<br>mercado | 1.872                             | 1.000            | 0.4%                                 | 0.3%                                     | 0.5%                          |
| Azúcar procesada               | 2.058                             | 1.464            | 0.4%                                 | 0.2%                                     | 0.1%                          |
| Cuero y calzado                | 1.902                             | 1.204            | 0.4%                                 | 0.2%                                     | 0.8%                          |
| Otras industrias               | 1.910                             | 1.234            | 0.3%                                 | 0.2%                                     | 0.4%                          |
| Chocolate procesado            | 2.173                             | 1.119            | 0.2%                                 | 0.1%                                     | 0.1%                          |
| Otros textiles                 | 1.902                             | 1.538            | 0.1%                                 | 0.1%                                     | 0.2%                          |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción.

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 5A. Caracterización de los sectores de enclave<sup>a</sup>

| Sectores                 | Encadenamientos |               | Participación en la producción | Participación en el valor agregado | Participación en el empleo |
|--------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                          | Hacia atrás     | Hacia delante |                                |                                    |                            |
| Comercio                 | 1.533           | 1.554         | 7.1%                           | 7.6%                               | 17.8%                      |
| Petróleo y gas           | 1.093           | 1.332         | 6.5%                           | 9.2%                               | 0.2%                       |
| Sector público           | 1.600           | 1.000         | 6.1%                           | 6.5%                               | 4.3%                       |
| Inmobiliarias            | 1.144           | 1.412         | 5.6%                           | 8.4%                               | 1.7%                       |
| Salud                    | 1.416           | 1.005         | 3.4%                           | 2.5%                               | 2.3%                       |
| Comunicaciones           | 1.540           | 1.487         | 2.6%                           | 2.5%                               | 1.7%                       |
| Educación pública        | 1.289           | 1.000         | 2.2%                           | 3%                                 | 2.2%                       |
| Esparcimiento de mercado | 1.464           | 1.441         | 1.8%                           | 1.9%                               | 2.9%                       |
| Educación privada        | 1.331           | 1.049         | 1.6%                           | 2.1%                               | 1.5%                       |
| Carbón                   | 1.377           | 1.068         | 1.4%                           | 1.8%                               | 0.5%                       |
| Servicio doméstico       | 1.000           | 1.000         | 0.5%                           | 0.8%                               | 3.7%                       |
| Saneamiento              | 1.440           | 1.319         | 0.4%                           | 0.5%                               | 0.1%                       |
| Pesca                    | 1.449           | 1.616         | 0.1%                           | 0.2%                               | 0.8%                       |
| Tabaco procesado         | 1.632           | 1.000         | 0%                             | 0%                                 | 0%                         |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción.

FUENTE: elaboración propia.

### 3. Caracterización sectorial por emisiones

CUADRO 6A. Sectores con mayores emisiones que el promedio (continúa)

| Sectores             | Encadenamientos |               | Intensidad (emisiones / producción) | Caracterización sectorial | Participación en las emisiones |
|----------------------|-----------------|---------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                      | Hacia atrás     | Hacia delante |                                     |                           |                                |
| Transporte terrestre | 0.761           | 0.922         | 0.454                               | KS                        | 6.8%                           |
| Químicos             | 0.757           | 0.955         | 0.543                               | KS                        | 5.9%                           |
| Molinería            | 1.097           | 1.336         | 0.765                               | KS                        | 5.3%                           |
| Otros transportes    | 0.839           | 1.852         | 0.657                               | KS                        | 2%                             |
| Caucho y plástico    | 0.700           | 0.817         | 0.334                               | KS                        | 1.1%                           |
| Transporte aéreo     | 0.685           | 0.722         | 0.396                               | KS                        | 1.1%                           |
| Papel y cartón       | 0.511           | 0.512         | 0.230                               | KS                        | 0.7%                           |

**CUADRO 6A. Sectores con mayores emisiones que el promedio<sup>a</sup> (concluye)**

| Sectores                             | Encadenamientos |                  | Intensidad<br>(emisiones / producción) | Caracterización<br>sectorial | Participación<br>en las emisiones |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
|                                      | Hacia<br>atrás  | Hacia<br>delante |  |                              |                                   |
| Madera procesada                     | 0.635           | 0.838            | 0.388                                  | KS                           | 0.4%                              |
| Transporte acuático                  | 1.063           | 1.540            | 0.778                                  | KS                           | 0.3%                              |
| Ganadería                            | 1.119           | 1.572            | 0.828                                  | FL                           | 7.9%                              |
| Energía eléctrica                    | 0.601           | 0.932            | 0.549                                  | FL                           | 6.9%                              |
| Refinados de petróleo                | 0.535           | 0.861            | 0.477                                  | FL                           | 6.4%                              |
| Agrícolas                            | 0.491           | 0.612            | 0.374                                  | FL                           | 4.3%                              |
| Mantenimiento<br>y reparaciones      | 0.782           | 1.632            | 0.643                                  | FL                           | 3.5%                              |
| Minerales no metálicos<br>procesados | 0.475           | 0.525            | 0.262                                  | FL                           | 1.6%                              |
| Carne y pescado                      | 2.098           | 1.612            | 1.284                                  | BL                           | 10.3%                             |
| Lácteos                              | 2.338           | 1.966            | 1.616                                  | BL                           | 5.1%                              |
| Otros textiles                       | 0.645           | 0.592            | 0.385                                  | BL                           | 0.3%                              |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción. KS=sector clave, BL=fuerte encadenamiento hacia atrás, FL=fuerte encadenamiento hacia delante, LL=sector enclave.

FUENTE: elaboración propia.

**CUADRO 7A. Sectores que emiten debido a los insumos utilizados<sup>a</sup>**

| Sectores         | Encadenamientos |                  | Intensidad<br>(emisiones / producción) | Caracterización<br>sectorial | Participación<br>en las emisiones |
|------------------|-----------------|------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
|                  | Hacia<br>atrás  | Hacia<br>delante |  |                              |                                   |
| Azúcar procesada | 0.474           | 0.134            | 0.091                                  | BL                           | 0.2%                              |
| Cuero y calzado  | 0.488           | 0.061            | 0.051                                  | BL                           | 0.1%                              |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción. KS=sector clave, BL=fuerte encadenamiento hacia atrás, FL=fuerte encadenamiento hacia delante, LL=sector enclave.

FUENTE: elaboración propia.

**CUADRO 8A. Sectores con menores emisiones que el promedio (continúa)**

| Sectores                    | Encadenamientos |                  | Intensidad<br>(emisiones / producción) | Caracterización<br>sectorial | Participación<br>en las emisiones |
|-----------------------------|-----------------|------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
|                             | Hacia<br>atrás  | Hacia<br>delante |  |                              |                                   |
| Sector público              | 0.207           | 0.045            | 0.045                                  | LL                           | 1.3%                              |
| Comunicaciones              | 0.218           | 0.126            | 0.085                                  | LL                           | 1%                                |
| Esparcimiento de<br>mercado | 0.161           | 0.076            | 0.052                                  | LL                           | 0.4%                              |
| Salud                       | 0.136           | 0.017            | 0.017                                  | LL                           | 0.3%                              |

**CUADRO 8A. Sectores con menores emisiones que el promedio<sup>a</sup> (concluye)**

| Sectores                       | Encadenamientos |               | Intensidad<br>(emisiones / producción) | Caracterización sectorial | Participación en las emisiones |
|--------------------------------|-----------------|---------------|--|---------------------------|--------------------------------|
|                                | Hacia atrás     | Hacia delante |  |                           |                                |
| Inmobiliarias                  | 0.040           | 0.011         | 0.008                                  | LL                        | 0.2%                           |
| Saneamiento                    | 0.178           | 0.096         | 0.073                                  | LL                        | 0.1%                           |
| Carbón                         | 0.139           | 0.018         | 0.017                                  | LL                        | 0.1%                           |
| Educación pública              | 0.067           | 0.010         | 0.010                                  | LL                        | 0.1%                           |
| Petróleo y gas                 | 0.040           | 0.004         | 0.003                                  | LL                        | 0.1%                           |
| Educación privada              | 0.076           | 0.010         | 0.010                                  | LL                        | 0.1%                           |
| Pesca                          | 0.209           | 0.050         | 0.031                                  | LL                        | 0%                             |
| Tabaco procesado               | 0.218           | 0.016         | 0.016                                  | LL                        | 0%                             |
| Minerales metálicos procesados | 0.350           | 0.243         | 0.148                                  | KS                        | 1.2%                           |
| Maquinaria y equipo            | 0.400           | 0.269         | 0.164                                  | KS                        | 0.3%                           |
| Aceites                        | 0.409           | 0.202         | 0.111                                  | KS                        | 0.2%                           |
| Impresiones                    | 0.313           | 0.134         | 0.062                                  | KS                        | 0.2%                           |
| Equipos de oficina             | 0.401           | 0.199         | 0.097                                  | KS                        | 0.2%                           |
| Textiles                       | 0.369           | 0.276         | 0.129                                  | KS                        | 0.1%                           |
| Gas                            | 0.264           | 0.103         | 0.059                                  | KS                        | 0.1%                           |
| Financiero                     | 0.284           | 0.389         | 0.216                                  | FL                        | 4.5%                           |
| Minerales metálicos            | 0.359           | 0.408         | 0.169                                  | FL                        | 0.5%                           |
| Silvicultura                   | 0.204           | 0.238         | 0.118                                  | FL                        | 0.1%                           |
| Café                           | 0.094           | 0.075         | 0.037                                  | FL                        | 0.1%                           |
| Obras civiles                  | 0.290           | 0.088         | 0.078                                  | BL                        | 1.7%                           |
| Turismo                        | 0.412           | 0.037         | 0.029                                  | BL                        | 0.6%                           |
| Tejidos                        | 0.242           | 0.048         | 0.043                                  | BL                        | 0.2%                           |
| Automóviles                    | 0.403           | 0.123         | 0.099                                  | BL                        | 0.2%                           |
| Muebles                        | 0.376           | 0.097         | 0.079                                  | BL                        | 0.1%                           |
| Bebidas                        | 0.268           | 0.035         | 0.026                                  | BL                        | 0.1%                           |
| Construcción                   | 0.194           | 0.004         | 0.004                                  | BL                        | 0.1%                           |
| Otros alimentos                | 0.409           | 0.040         | 0.031                                  | BL                        | 0.1%                           |
| Otras industrias               | 0.293           | 0.046         | 0.037                                  | BL                        | 0.1%                           |
| Esparcimiento de no mercado    | 0.217           | 0.020         | 0.020                                  | BL                        | 0%                             |
| Chocolate procesado            | 0.423           | 0.022         | 0.020                                  | BL                        | 0%                             |
| Trilla                         | 0.102           | 0.007         | 0.006                                  | BL                        | 0%                             |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción. KS=sector clave, BL=fuerte encadenamiento hacia atrás, FL=fuerte encadenamiento hacia delante, LL=sector enclave.

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 9A. Sectores que emiten debido a su proceso productivo<sup>a</sup>

| Sectores                | Encadenamientos |                  | Intensidad<br>(emisiones /<br>producción) | Caracterización<br>sectorial | Participación<br>en las emisiones |
|-------------------------|-----------------|------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|
|                         | Hacia<br>atrás  | Hacia<br>delante |   |                              |                                   |
| Servicios empresariales | 0.290           | 0.571            | 0.214                                     | FL                           | 5.3%                              |
| Agua                    | 0.335           | 0.471            | 0.213                                     | FL                           | 0.4%                              |
| Minerales no metálicos  | 0.363           | 0.629            | 0.262                                     | FL                           | 0.3%                              |
| Comercio                | 0.438           | 0.453            | 0.291                                     | LL                           | 9.5%                              |
| Servicios empresariales | 0.290           | 0.571            | 0.214                                     | FL                           | 5.3%                              |

<sup>a</sup> Ordenado de acuerdo con su participación en la producción. KS = sector clave, BL = fuerte encadenamiento hacia atrás, FL = fuerte encadenamiento hacia delante, LL = sector enclave.

FUENTE: elaboración propia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accorsi, S., López, R., y Sturia, G. (2016). *Análisis sectorial de la huella de carbono para la economía chilena: un enfoque basado en la matriz insumo-producto* (documento de trabajo núm. 431). Santiago de Chile: Departamento de Economía-Universidad de Chile.
- Alcántara, V. (2007). *Análisis input-output y emisiones de CO<sub>2</sub> en España: Un primer análisis para la determinación de sectores clave en la emisión* (documento de trabajo 07-12). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alcántara, V., Del Río, P., y Hernández, F. (2010). Structural analysis of electricity consumption by productive sectors: The Spanish case. *Energy*, 35(5), 2088-2098.
- Alcántara, V., Padilla, E., y Piaggio, M. (2014). Economic structure and key sectors analysis of greenhouse gas emissions in Uruguay. *Economic Systems and Research*, 26(2), 155-176.
- Álvarez, A. C., Argüello, R., Calderón, S., Hernández, G., Nieto, A., Ordoñez, D., Romero, G., y Wills, W. (2017). Compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: consecuencias económicas. *Desarrollo y Sociedad*, (79), 11-57.
- Banco Mundial (2010). *World Development Report: Development and Climate Change*. Washington, D. C.: Banco Mundial.
- Barreiro, K., De Santana, L., y Perobelli, F. (2016). Reducing Brazilian

- greenhouse gas emissions: Scenario simulations of targets and policies. *Economic Systems Research*, 28(4), 482-496.
- Cella, G. (1984). The input-output measurement of interindustry linkages. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 46(1), 73-84.
- Chatellier, D., y Sheinbaum, C. (2017). Assessing the impacts of final demand on CO<sub>2</sub>eq emissions in the Mexican economy: An input-output analysis. *Energy and Power Engineering*, 9(1), 40-54.
- Chenery, H., y Watanabe, T. (1958). International comparison of the structure of production. *Econometrica*, 26(4), 487-521.
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia Política*, 13(25), 107-125.
- Dane (s. f.). Cuenta Ambiental y Económica de Energía y Emisiones al Aire. Dane. Información para Todos. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-ambiental-csa>
- Dietzenbacher, E. (1992). The measurement of interindustry linkages: Key sectors in the Netherlands. *Economic Modelling*, 9(4), 419-437.
- Eurostat (2008). *Eurostat Manual of Supply Use and Input-Output Tables*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902113/KS-RA-07-013-EN.PDF>
- Flórez, J. (2012). Análisis de impacto de la agenda de competitividad sobre el PIB y el empleo: una mirada desde la matriz insumo producto. *Economía Gestión y Desarrollo*, (13), 39-70.
- Gallardo, A., y Mardones, C. (2013). Environmentally extended social accounting matrix for Chile. *Environment, Development and Sustainability*, 15(4), 1009-1127.
- Hernández, G. (2012). Matrices insumo-producto y análisis de multiplicadores: Una aplicación para Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 14(26), 203-221.
- Hernández, G., y Villamil, J. (2016). Encadenamientos, clústeres y flujos de trabajo en la economía colombiana. *Ensayos sobre Política Económica*, 34(79), 51-65.
- Hirschman, A. (1961). *La estrategia del desarrollo económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ideam, PNUD, MADS, DNP y Cancillería (2015). *Inventario nacional de gases efecto invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional*

- de Cambio Climático de Colombia.* Bogotá: Ideam / PNUD / MADS / DNP / Cancillería. Recuperado de: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla\\_INGEI.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf)
- Jones, L. (1976). The measurement of Hirschmanian linkages. *Quarterly Journal of Economics*, 90(2), 323-333.
- MADS (2015). Documento técnico soporte de la INDC de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia\\_hacia\\_la\\_COP21/Documento\\_Tecnico\\_de\\_Soporte\\_Jul24\\_Final.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/Documento_Tecnico_de_Soporte_Jul24_Final.pdf)
- Rasmussen, P. (1963). *Relaciones intersectoriales*. Madrid: Aguilar.
- Ruiz Nápoles, P. (2012). *Low Carbon Development Strategy for Mexico: An Input-Output Analysis* (final report). PNUMA, AFD y Semarnat. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.7363&rep=rep1&type=pdf>
- Ruiz Nápoles, P. (2014). *Crecimiento bajo en carbono y adopción de tecnologías para la mitigación: Los casos de la Argentina y el Brasil* (documento de proyecto). Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Schuschny, A. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo-producto: Teoría y aplicaciones*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Sonis, M., Guilhoto, J., Hewings, G., y Martins, E. (1995). Linkages, key sectors, and structural change: Some new perspectives. *Developing Economies*, 33(3), 243-246.
- Universidad de los Andes (2016). *Upstream Analytical Work to Support Development of Policy Options for Mid- and Long-Term Mitigation Objectives in Colombia* (informe 5). Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia\\_hacia\\_la\\_COP21/Fichas\\_portafolio\\_medidas.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/Fichas_portafolio_medidas.pdf)
- Vega, A. (2008). Eslabonamientos productivos y cambio estructural en Colombia, 1990-2004. *Revista CIFE*, (13), 106-124.
- Zhao, Y., Zhang, Z., Wang, S., Zhang, Y., y Liu, Y. (2015). Linkage analysis of sectoral CO<sub>2</sub> emissions based on the hypothetical extraction method in South Africa. *Journal of Cleaner Production*, 103(15), 916-924.