

---

---

# ARCHIVOS DE ECONOMÍA

---

---

## Vulnerabilidades macroeconómicas ante la transición baja en carbono

Gustavo Adolfo HERNANDEZ-DIAZ  
[gbernandez@dnp.gov.co](mailto:gbernandez@dnp.gov.co)



**DEPARTAMENTO  
NACIONAL DE PLANEACIÓN**

**Documento 557**  
**Dirección de Estudios Económicos**  
**Noviembre del 2023**

---

La serie ARCHIVOS DE ECONOMÍA es un medio de divulgación de la Dirección de Estudios Económicos, no es un órgano oficial del Departamento Nacional de Planeación. Sus documentos son de carácter provisional, de responsabilidad exclusiva de sus autores y sus contenidos no comprometen a la institución.

Consultar otros **Archivos de economía** en:

<https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx>

<http://www.dotec-colombia.org/index.php/series/118-departamento-nacional-de-planeacion/archivos-de-economia>

\*

## Resumen

Una transición baja en carbono implica un cambio estructural de la economía, lo que conlleva a enfrentar diferentes clases de vulnerabilidades, dada la estructura de la economía colombiana. Aquí se presenta la estimación de tres tipos de vulnerabilidades macroeconómicas ante un desmonte o una transformación estructural de los sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero, con el objetivo de mostrar cuán expuesta está la economía del país a políticas asociadas con la descarbonización. Se encuentra que la vulnerabilidad del sector externo es muy alta, ya que, ante una disminución de la oferta (por parte del país) o una reducción de la demanda internacional (del carbón y/o petróleo), los ingresos de divisas disminuyen considerablemente. De otra parte, en el frente fiscal, la vulnerabilidad macro es menor, pero hay que considerar el mayor esfuerzo fiscal que habría que realizarse para el financiamiento de la transición, así como los efectos de una reducción en la inversión, consecuencia de la reducción de las regalías. Estos dos efectos presentan simultáneamente un desafío para la obtención de nuevas fuentes de recursos públicos para la financiación de la transformación, tanto en el sector productivo como energético. Finalmente, al observar la vulnerabilidad en el ámbito socioeconómico, el riesgo consiste en no poder absorber el choque sobre el mercado de trabajo por medio de la protección social, ya que la tasa de informalidad de la economía es considerablemente alta.

**Palabras clave:** Transición baja en carbono, análisis insumo-producto, vulnerabilidades macroeconómicas.

**Clasificación JEL:** C67, F18, Q58.

---

\* El autor es Subdirector de Estudios Macroeconómicos, Sectoriales y de Regulación del Departamento Nacional de Planeación. El autor agradece los comentarios realizados por Guilherme Magacho y Antoine Godin de la Agencia Francesa para el Desarrollo, Gabriel Piraquive, Luis Jorge Garay del Departamento Nacional de Planeación y los participantes en el seminario de seguimiento de la Dirección de Estudios Económicos. Los errores, opiniones y omisiones son responsabilidad del autor y no comprometen a la institución en que trabaja.

# Introducción

El Acuerdo de París, adoptado por 196 países en 2015, tuvo como objetivo principal encontrar un consenso para limitar el incremento de la temperatura global a menos de los 2 (preferiblemente 1,5) grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales (UNFCCC, 2015). Diferentes países han fomentado y adoptado políticas encaminadas a promover un cambio tecnológico para llegar a una neutralidad en carbono con el fin de cumplir con el compromiso adquirido. Esta clase de política exige un rápido cambio estructural, en el que los sectores con bajas emisiones han de ganar importancia, en tanto que habrían de ceder relevancia los sectores con altas en emisiones, transformando su forma de producción o desapareciendo con el tiempo.

Colombia es uno de los países latinoamericanos con mayor compromiso con los objetivos suscritos en el Acuerdo de París<sup>1</sup>, a pesar de que su contribución con las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a nivel global son bastantes bajas. Para 2018, los GEI emitidos por Colombia representaron el 0,21% de las emisiones globales, y el 4,7% de las latinoamericanas. De otra parte, en términos per cápita, las emisiones de Colombia alcanzan 1,6 tCO<sub>2</sub> eq, por debajo del promedio de América Latina y el Caribe, de 2,6 tCO<sub>2</sub> eq<sup>2</sup>.

La transición hacia una economía baja en carbono conlleva grandes retos de política económica, ya que implica un cambio en la estructura productiva de un país, esto es, dejar de lado o transformar los sectores asociados con altas emisiones de GEI a favor de sectores (o nuevos sectores) con baja afectación sobre el medio ambiente. De esta manera, es importante conocer, a nivel sectorial, cómo los sectores con grandes emisiones interactúan con el resto de la economía y cuáles pueden ser los efectos a nivel macroeconómico de adoptar acciones hacia su marchitamiento o transformación.

---

<sup>1</sup> Colombia cuenta con un marco jurídico integral sobre el cambio climático, que abarca la adopción de compromisos climáticos internacionales, su traducción en compromisos nacionales, el establecimiento de la arquitectura institucional para la gestión del cambio climático y la creación de instrumentos de mitigación para toda la economía, como los instrumentos de fijación de precios del carbono y el desarrollo de un mercado de bonos de emisiones (Banco Mundial, 2023).

<sup>2</sup> Datos obtenidos de los Indicadores De Desarrollo Mundial del Banco Mundial.

En este documento se presenta una medición de la exposición macroeconómica de la economía colombiana ante los sectores más intensivos en emisiones de GEI, haciendo una adaptación para Colombia del trabajo de Espagne *et al.* (2023) que, por medio del cálculo de diferentes indicadores basados en el análisis insumo – producto, evalúan la exposición externa, fiscal y socioeconómica de un país y, considerando la capacidad para adaptación de la estructura productiva ante esta exposición, se especifican las vulnerabilidades y riesgos que a nivel de estas tres dimensiones.

De manera particular, primero se caracterizan los sectores con mayores emisiones de GEI. Para luego evaluar para cada uno de tales sectores la exposición macroeconómica en tres dimensiones: i) la dimensión externa, mediante el cálculo de la generación neta de divisas netas (esto es, los ingresos de las exportaciones descontado su contenido importado), ii) la dimensión fiscal, a través de la estimación de la tasa efectiva de tributación de la producción, y iii) la dimensión socioeconómica, mediante el cálculo de la generación de ingresos salariales, y empleos indirectos creados. Posteriormente, se realiza una comparación entre los sectores altamente contaminantes con respecto a los sectores con menores emisiones de GEI, para observar diferencias en la exposición macroeconómica de la economía en cada una de las dimensiones consideradas.

El documento se organiza de la siguiente manera. En la siguiente sección se detallan tanto las diversas fuentes de datos utilizadas, como las transformaciones necesarias para el cálculo de los diferentes indicadores. En la tercera se presenta la metodología utilizada, tanto para la caracterización de los sectores por las emisiones generadas, como la forma de cálculo de la exposición externa, fiscal y socioeconómica a nivel sectorial, además de presentar los resultados para cada uno de estos indicadores. En la cuarta, se realiza un breve análisis acerca de las vulnerabilidades y riesgos macroeconómicos de una transición de bajo carbono. En la quinta sección, se presentan las principales conclusiones.

## Fuentes de información y transformación de los datos originales

La estructura insumo – producto utilizado es tomada a partir de la matriz insumo – producto (MIP) para 2017, publicada por el DANE<sup>3</sup>, la cual consta de 68 sectores con base en las nuevas cuentas nacionales (año base 2015) a precios corrientes. Para el cálculo de los encadenamientos – como el incremento de la producción de la economía dado el aumento de un peso en la demanda de un determinado sector –, se utilizó la matriz producto – producto. El DANE también suministra la matriz actividad – actividad, pero esta no es utilizada ya que el encadenamiento de la actividad considera el cambio en la actividad por haber demandado un peso más en la economía. Donde la actividad de un sector contiene tanto la producción primaria (que es la producción del sector) y secundaria (que es la producción de otros sectores)<sup>4</sup>, lo cual implica que los encadenamientos pueden estar sobre- o sub-estimados de acuerdo con la estructura de la producción secundaria del sector.

De otra parte, hay que tener en cuenta que las matrices publicadas son presentadas tanto a nivel doméstico como importado. Para los cálculos de los indicadores propuestos se utilizó la matriz doméstica de producción y no las matrices nacionales, ya que estas últimas involucran el consumo intermedio importado, con lo que los resultados pueden estar sub o sobreestimados, de acuerdo con el grado de dependencia de importaciones.

## Emisiones de gases efectos invernadero

Hay dos fuentes de información para llevar a cabo el cálculo de la intensidad de emisiones de GEI a nivel sectorial: i) las cuentas ambientales de energía y emisiones del DANE<sup>5</sup>, ii) el Inventario de Gases Efecto Invernadero construido por

---

<sup>3</sup> La cual puede ser consultada en [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/especiales/anexo\\_matriz\\_insumo\\_producto-empleo-produccion-2017.xlsx](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/especiales/anexo_matriz_insumo_producto-empleo-produccion-2017.xlsx).

<sup>4</sup> Por ejemplo, la actividad de café está compuesta por: la producción directamente relacionada con el cultivo de café (producción primaria), y la que puede estar relacionada con el cultivo de plátano, que hace sombrío para el café (producción secundaria).

<sup>5</sup> Para mayores detalles se puede consultar la Cuenta Ambiental y Económica de Energía y Emisiones al Aire, en unidades físicas en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-ambiental-csa>.

el IDEAM<sup>6</sup>. El cálculo de las emisiones en cada caso sigue metodologías completamente diferentes. El DANE cuantifica las emisiones resultantes a partir de los flujos en el sector energético, mientras que el IDEAM se basa en la metodología del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que tiene en cuenta datos de actividad y factores de emisión.

Para este trabajo se toman los datos de la tercera comunicación del Inventario de GEI para 2018, ya que, además de estimar las emisiones de energía, calculan las emisiones realizadas por las actividades de: residuos, procesos industriales y uso de productos, y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, con lo que los resultados no están sesgados hacia las emisiones resultantes de la energía.

De acuerdo con el IDEAM *et al.* (2018), el sector que más ha aportado a las emisiones de GEI es el del módulo AFOLU: 65% en promedio para el periodo 1990-2014. Hay que mencionar que dicho aporte ha venido disminuyendo progresivamente, al haber sido de 73% en 1990 y pasado a 67% en 2000, 60% en 2010 y 55% en 2014. En contraste, el módulo de energía, que tiene una participación promedio del 28%, ha aumentado gradualmente, pasando del 22% en 1990 al 35% en 2014. En menor medida, la participación de las emisiones de los módulos de IPPU y residuos también se ha incrementado: en 1990 la participación del IPPU fue de 2% y de 3% para el módulo de residuos; pasando a ser en 2014 de 4% para el módulo de IPPU y de 6% para el modelo de residuos.

Como se puede observar en el Gráfico 1, las emisiones asociadas a los procesos del sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra son las más altas, ya que corresponden al 59% de las emisiones totales, por lo que al tener en cuenta sólo las emisiones de energía (con los datos del DANE) se estarían subestimando los efectos de las emisiones de GEI.

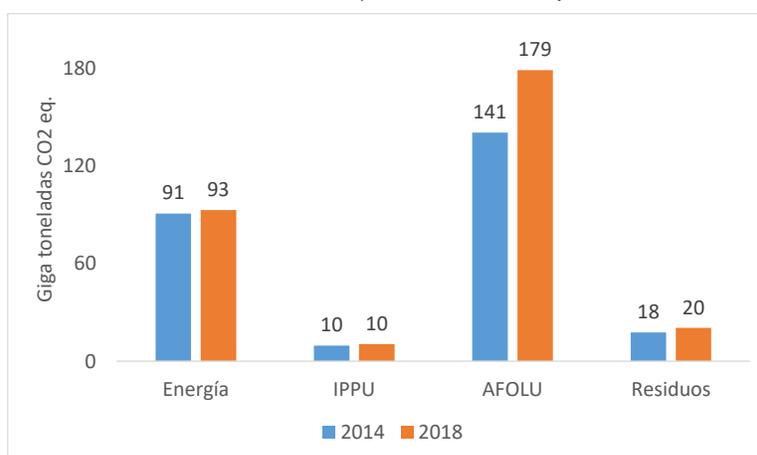
Hay que considerar que las emisiones sectoriales calculadas por el IDEAM no corresponden directamente a los sectores de cuentas nacionales del DANE, por lo que se procedió a realizar una correlativa entre cada uno de los sectores

---

<sup>6</sup> Para mayores detalles se puede consultar <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023910/023910.pdf>.

desagregados en el inventario de GEI del IDEAM y las cuentas nacionales. Hay que tener en cuenta, además, que los sectores considerados en el Inventario de GEI hacen referencia a lo que el sector emite en el proceso productivo y no a las emisiones de la producción final de cada uno de los sectores. Con el fin de obtener las emisiones por sector, se sigue la metodología propuesta por Hernández (2021), en la que a partir de la correlativa entre los sectores del IDEAM y las cuentas nacionales, se asume que las emisiones del proceso productivo son iguales a la participación al consumo intermedio del sector.

Gráfico 1. Emisiones para Colombia 2014 y 2018



Energía: Contiene el sector de electricidad y transporte; AFOLU: Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra; IPPU: Procesos industriales y uso de productos.

Cálculos del autor.

Fuente: IDEAM

## Generación de ingresos en el sector externo

El indicador de las vulnerabilidades del sector externo muestra la capacidad de generación de ingresos (en divisas) para la economía a nivel sectorial. Ahora bien, la producción de exportaciones contiene tanto un componente importado como uno doméstico, por lo que para la construcción del indicador se debe separar las importaciones intermedias realizadas por el sector, a fin de tomar en cuenta exclusivamente el ingreso generado por el valor agregado doméstico, ya que el valor del consumo intermedio importado, directo e indirecto, no constituye un ingreso para la economía. Para descontar estas importaciones de bienes de consumo

intermedio, se utiliza la matriz de consumo intermedio importada, como parte de las MIP publicadas por el DANE.

De otra parte, la estructura insumo – producto del DANE toma las exportaciones netas, esto es, descuenta las importaciones del sector, con lo que no pueden ser utilizadas en el cálculo del indicador. Como una fuente alternativa, se utilizan las exportaciones sectoriales reportadas en la Matriz de Contabilidad Social (MCS) para 2017 publicada por el DANE<sup>7</sup>.

## Ingresos fiscales

Para estimar la vulnerabilidad fiscal, se considera la tasa efectiva de tributación pagada por la producción a nivel sector, de forma directa e indirecta. El impuesto pagado tiene un “efecto cascada” sobre la economía, ya que al ser un bien de un sector utilizado como insumo de otro sector, en mayor o menor medida, el tributo puede ser cobrado proporcionalmente más de una vez.

La tarifa efectiva de tributación para cada sector se calcula como la suma de los ingresos fiscales recaudados por parte de la producción, esto es: los impuestos (y subvenciones a la producción), los impuestos pagados por los salarios y los impuestos al capital. Los datos de los impuestos (y subvenciones) a la producción se pueden obtener directamente de la MIP. Para el caso de los impuestos a los salarios y los impuestos al capital, se tienen que realizar cálculos adicionales al no contar con una información directa de los pagos realizados a nivel sectorial.

En el caso del impuesto al capital, para obtener una tasa impositiva se calcula la razón de los impuestos directos pagados por las empresas con respecto al excedente bruto de explotación, según la MCS de 2017, que fue de 12,7%. Esta tasa se aplica de manera uniforme para todos los sectores sobre los datos de excedente bruto de explotación de la MIP. De otra parte, para los impuestos sobre los salarios se cuenta con información sectorial de los impuestos a la nómina

---

<sup>7</sup> La cual puede ser consultada en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-anuales/matrices-complementarias#matriz-de-contabilidad-social>.

pagados sectorialmente, la cual proviene de una MCS construida por la Dirección de Estudios Económicos del DNP, que combina los registros de la GEIH, datos administrativos y Cuentas Nacionales.

### Ingresos salariales y empleo en la dimensión socioeconómica

Las vulnerabilidades socioeconómicas se relacionan con la generación de ingresos salariales y del empleo a nivel sectorial. Aquí es importante mencionar que el DANE publica los datos sectoriales de empleo a 25 sectores, no a los 68 sectores que se tienen para la MIP, por lo que se realiza una agregación de la estructura insumo – producto para la estimación de este indicador. En el caso del empleo, se calculan los empleos generados de forma indirecta para cada uno de los sectores, como una *proxy* del multiplicador del empleo.

En el caso de los salarios, se puede obtener una *proxy* a través de la remuneración a asalariados que se encuentra en la desagregación de valor agregado de la MIP. Sin embargo, aquí es importante recordar que, dada la estructura de la economía colombiana, el ingreso mixto es una fuente importante de ingresos salariales, particularmente para los trabajadores informales de la economía. El ingreso mixto se puede definir como “el excedente derivado del proceso de producción de las empresas individuales (por ejemplo, familias), descontando el pago de intereses u otros gastos sobre la renta” (Cortés y Pinzón, 2000). Por tanto, en esta categoría se considera que una parte es ganancias de capital de los propietarios, y otra parte remuneración a los trabajadores.

Así, entonces, una parte del ingreso mixto debe ser involucrada en la *proxy* de los salarios, para no sesgar los resultados. Para ello se toman los datos de Céspedes (2011), que, mediante un método de imputación utilizando la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH), se calculan sectorialmente la parte del ingreso mixto correspondiente a la remuneración a asalariados (que en promedio es de 87%) y la parte correspondiente al excedente bruto de explotación (el restante 13%, en promedio). En consecuencia, de los salarios calculados a nivel sectorial, además de

la remuneración a asalariados, se toma la parte correspondiente al ingreso mixto, de acuerdo con los datos de la MIP.

## Metodología

Se hace una adaptación de la metodología propuesta por Espagne *et al.* (2023), que consiste en utilizar la estructura insumo – producto de una economía para calcular la dependencia de los sectores como fuente de divisas, ingresos fiscales, empleo e ingresos salariales. A continuación, se presenta la metodología para realizar la clasificación de la estructura productiva de la economía y las emisiones, así como la construcción de los indicadores para evaluar la vulnerabilidad macroeconómica con respecto a la transición baja en carbono.

### Encadenamientos a nivel sectorial

Se considera que la oferta de la economía puede ser representada por un vector de producción,  $x$ , de  $n$  sectores, mientras que la demanda está constituida por el consumo intermedio,  $Ax$ , y la demanda final,  $f$ . Lo cual puede ser representado como<sup>8</sup>:

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

donde,  $A$  es la matriz de coeficientes técnicos, siendo cada uno de los elementos  $(a_{ij})$  la cantidad de insumo requerido para producir una unidad de producción. Efectuando las transformaciones necesarias, se encuentra las matrices básicas

---

<sup>8</sup> A lo largo del documento, los vectores son notados por letras minúsculas en negrita (por ejemplo,  $x$ ), y los vectores columna son denotados con una  $^T$  (por ejemplo,  $x^T$ ). Mientras que, las matrices son notadas por letras mayúsculas en negrita (por ejemplo,  $X$ ), excepto para aquellas letras minúscula con un  $^{\wedge}$  (por ejemplo,  $\hat{\pi}$ ) que indican matrices diagonales con elementos de un vector en los elementos de la diagonal y cero con los elementos por fuera de la diagonal. Adicionalmente,  $e$  representa un vector columna con todas las entradas iguales a uno.

para construir los indicadores insumo – productos utilizados,  $A$ ,  $M$ ,  $B$  y  $G$ , las cuales están definidas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Transformaciones de la MIP

Enfoque de Leontief	Matriz de coeficientes técnicos	$A = X\hat{x}^{-1}$
	Inversa de Leontief	$M = (I - A)^{-1}$
Enfoque de Ghosh	Matriz de coeficientes de asignaciones	$B = \hat{x}^{-1}X$
	Inversa de Ghosh	$G = (I - B)^{-1}$

En este caso  $X$  se refiere a la matriz de consumo intermedio

Adaptado de Miller y Blair (2009)

Los encadenamientos usados generalmente son los de Rasmussen (1957), que capturan los encadenamientos directos e indirectos en una economía. La suma de las columnas de la inversa de Leontief ( $e^T M$ ) miden los encadenamientos hacia atrás, mientras que los encadenamientos hacia adelante se calculan como la suma de las filas de la inversa de Ghosh ( $B e$ ). La normalización del encadenamiento hacia atrás es  $ne^T M / e^T M e$ , donde  $n$  es el número de sectores de la economía. Del mismo modo, se puede normalizar los encadenamientos hacia adelante, así:  $nGe / e^T Ge$ .

Hirschman (1958) sugiere que la economía puede caracterizarse, de acuerdo con el tamaño del encadenamiento, al tener un valor superior o inferior con respecto al promedio<sup>9</sup>, entonces: i) un sector es “clave” (cuadrante superior derecho), si presenta altos vínculos hacia atrás y hacia adelante (por encima de la unidad al ser normalizados), ii) un sector es de “enclave” (cuadrante inferior izquierdo), si presenta bajos vínculos hacia atrás y hacia adelante (por debajo de la unidad al ser normalizados), iii) un sector es “impulsor” (cuadrante inferior derecho), si presenta bajos vínculos hacia atrás pero grandes vínculos hacia adelante, y iv) un sector es de “arrastre” (cuadrante superior izquierdo), si presenta grandes vínculos hacia atrás pero bajos vínculos hacia adelante.

Ahora bien, además de los encadenamientos de Rasmussen, se puede utilizar otro tipo de encadenamientos para realizar la clasificación sectorial. Por ejemplo,

<sup>9</sup> Al ser normalizados los encadenamientos, pueden tomar un valor mayor o menor que uno.

Dietzenbacher *et al.* (2005) propone utilizar una medida de distancia económica, esto es, la cantidad de sectores por los cuales pasa un estímulo de un sector para afectar a otro sector. De este modo, se obtiene una medida del tiempo y el costo del ajuste y, en consecuencia, de la complejidad del sistema, a nivel sectorial o agregado. Para esto, se utiliza el número y tamaño de los encadenamientos, construyendo una matriz **APL**<sup>10</sup>, que muestra cómo se propaga un aumento de los costos o de la demanda a través de los sectores de la economía y se acumula en su efecto final.

Como señala Romero *et al.* (2009), el valor de cada uno de los coeficientes ( $APL_{i,j}$ ) indica la longitud de propagación promedio de un aumento de la demanda (hacia atrás) desde el sector  $j$  al sector  $i$ , que es igual a la longitud promedio de propagación de un aumento de costos en el sector  $i$  (hacia adelante) que afecta el valor del producto en el sector  $j$ . De acuerdo con Dietzenbacher *et al.* (2005), los coeficientes de la matriz **APL** pueden calcularse, desde el lado de la demanda<sup>11</sup>, como:

$$APL_{i,j} = \begin{cases} \frac{h_{i,j}}{m_{i,j}} & \text{para } i \neq j \\ \frac{h_{i,j}}{m_{i,j-1}} & \text{para } i = j \end{cases} \quad (2)$$

donde,  $h_{i,j}$  es un elemento de  $\mathbf{H} = \mathbf{M}(\mathbf{M} - \mathbf{I})$  y  $m_{i,j}$  es un elemento de  $\mathbf{M}$ .

Al considerar la distancia de un determinado sector a cualquier otro sector en la economía, se toman los promedios, lo cual puede hacerse desde dos perspectivas: una hacia adelante y otra hacia atrás. El *APL* promedio hacia adelante se define como:

$$FA_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n APL_{i,j} \quad (3)$$

El *APL* promedio hacia atrás se define como:

---

<sup>10</sup> Donde cada uno de los elementos  $APL_{i,j}$  son conocidos como la Longitud Promedio de Propagación del sector  $i$  al sector  $j$  (APL, por sus siglas en inglés).

<sup>11</sup> El procedimiento para hacer los cálculos desde la oferta se pueden consultar en: Dietzenbacher *et al.* (2005).

$$BA_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n APL_{i,j} \quad (4)$$

Finalmente, Romero *et al.* (2009) define un índice para medir la complejidad del sistema de producción (*CI*), dado por la siguiente expresión:

$$CI = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n APL_{i,j} \quad (5)$$

En este caso, la clasificación se hace al normalizar cada elemento del vector *FA* y *BA* con respecto a la complejidad del sistema (*CI*), donde un valor mayor que uno indica que el sector se encuentra en las etapas finales de la producción, esto es, utiliza insumos de diversos sectores por lo que es más complejo que el promedio, y un valor menor que uno es que se encuentra al comienzo de la cadena de producción, esto es, utilizado como un insumo intermedio, por lo tanto, el valor agregado del producto no es muy alto.

## Emisiones sectoriales

Para identificar los sectores que “pueden llegar a tener mayores emisiones”, primero se hace un cálculo de las emisiones involucradas en la producción de cada uno de los sectores, utilizando la metodología desarrollada por Hernández (2021) para Colombia. La metodología parte del reporte bienal de actualización (BUR3), el cual contiene el inventario nacional de gases efecto invernadero a 2018<sup>12</sup>, para realizar una equivalencia entre los sectores allí mencionados con los de Cuentas Nacionales, y de esa manera poder obtener las emisiones por cada sector de la economía.

Posteriormente, se define la intensidad de la emisión sectorial como emisiones de CO<sub>2</sub> eq. por unidad de producción, esto es, incluye otras emisiones de GEI además de las de CO<sub>2</sub>, por unidad de producción del sector. Al dividir las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción total por sector, se obtiene la intensidad de emisión directa (*c<sub>i</sub>*) de un sector, de la siguiente manera:

---

<sup>12</sup> Para más información, véase IDEAM *et al.* (2021).

$$c_i = \frac{\text{emisión}_i}{x_i} \quad (5)$$

donde,  $x_i$  es la producción del sector  $i$ , y  $\text{emisión}_i$  son las emisiones del sector  $i$ .

Para obtener las emisiones totales del sector –esto es, considerar no solo las emisiones incorporadas de manera directas, sino también las emisiones incorporadas de manera indirecta–, se utiliza la estructura insumo – producto de la economía. Las emisiones se obtienen de acuerdo con el uso de los bienes y servicios producidos por los sectores de la economía, conocidas como emisiones hacia adelante, o por la utilización de los sectores como insumos en la producción de otros sectores, emisiones hacia atrás.

De acuerdo con Alcántara *et al.* (2014), partiendo del modelo de Leontief se puede obtener las emisiones directas e indirectas, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} C &= \hat{c}(I - A)^{-1}f \\ C &= \hat{c}Mf \end{aligned} \quad (6)$$

donde,  $C$  es una matriz de emisiones directas e indirectas, la matriz  $\hat{c}$  se obtiene diagonalizando el vector de emisiones directas ( $c$ ), la matriz  $M$  es la matriz de insumos directos e indirectos para producir una unidad de producción y  $f$  es el vector de demanda de la economía.

Los encadenamientos hacia atrás de las emisiones se pueden calcular como:

$$\mu_{BL}^{uw} = e^T \hat{c}M \quad (7)$$

En este caso, el subíndice  $BL$  indica que es un encadenamiento hacia atrás y el superíndice  $uw$  se refiere a que el encadenamiento no está ponderado. Para evitar sesgos, los encadenamientos pueden ponderarse por la demanda final, restándole importancia a pequeños sectores que toman una parte importante de sus insumos de otros sectores, mientras que su peso en la producción total no es significativo. En el caso del análisis de emisiones, si bien las variaciones en la demanda final de esos sectores tienen un mayor impacto en términos de contaminación, su

contribución a las emisiones totales es menos significativa. Entonces, si  $\tilde{y}_i = y_i / \sum_i y_i$  y  $\sum_i \tilde{y}_i = 1$ , (7) se convierte en:

$$\mu_{BL}^w = \mathbf{e}^T \hat{\mathbf{c}} \mathbf{M} \hat{\mathbf{y}} \quad (8)$$

El superíndice  $w$  se refiere a que el encadenamiento está ponderado por la producción y  $\hat{\mathbf{y}}$  es la matriz diagonal de las ponderaciones.

Los encadenamientos hacia adelante de las emisiones se pueden calcular como:

$$\mu_{FL}^{uw} = \mathbf{B} \hat{\mathbf{c}} \mathbf{e} \quad (9)$$

Aquí el subíndice  $FL$  indica que es un encadenamiento hacia adelante y  $\mathbf{B}$  es la matriz asociada a la matriz de Gosh (véase el **Cuadro 1**). Ahora bien, para evitar los sesgos se pondera por el valor agregado de la economía. Entonces, si  $\tilde{v}a_i = va_i / \sum_i va_i$  y  $\sum_i \tilde{v}a_i = 1$ , (9) se convierte en:

$$\mu_{BL}^w = \mathbf{B} \hat{\mathbf{c}} \mathbf{e} \tilde{\mathbf{v}} \mathbf{a} \quad (10)$$

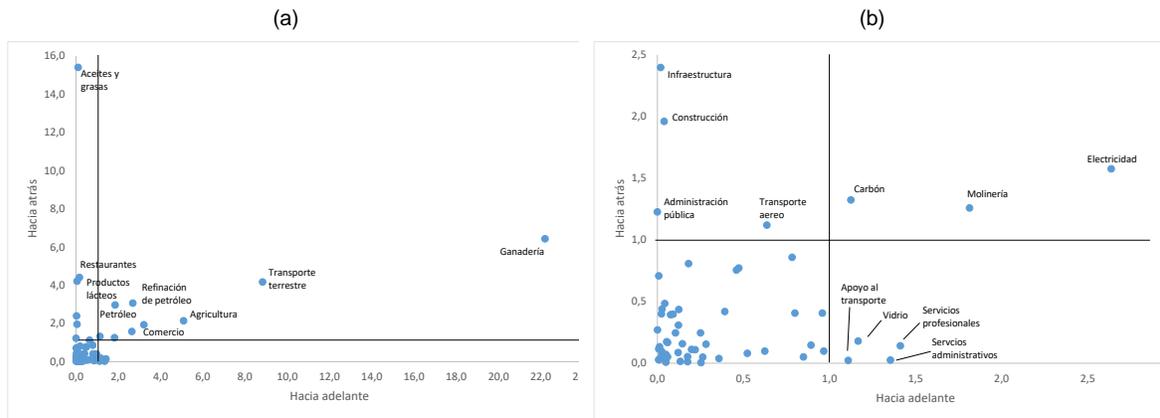
donde,  $\tilde{\mathbf{v}} \mathbf{a}$  es la matriz diagonal de las ponderaciones del valor agregado.

A partir del cálculo de los encadenamientos de las emisiones sectoriales se hace una clasificación equivalente a la propuesta por Hirschman (1958), pero para las emisiones de GEI (ponderadas) Como se puede observar en el Gráfico 2, los sectores que pueden considerarse más contaminantes son: ganadería, transporte terrestre, refinación de petróleo, agricultura, electricidad, petróleo, carbón, comercio y molinería, los cuales participarían con un 26,4% del PIB y serían on responsables del 83,7% de las emisiones de GEI. De otra parte, se observa que de los 67 sectores<sup>13</sup>, 47 de ellos tienen unas emisiones por debajo del promedio, siendo responsables del 45,3% del PIB y emitiendo cerca del 11,7% del total de GEI.

---

<sup>13</sup> No se cuenta con el sector de servicios domésticos porque no presenta ningún tipo de encadenamiento con los demás sectores.

Gráfico 2. Clasificación de los sectores por emisiones (ponderadas)



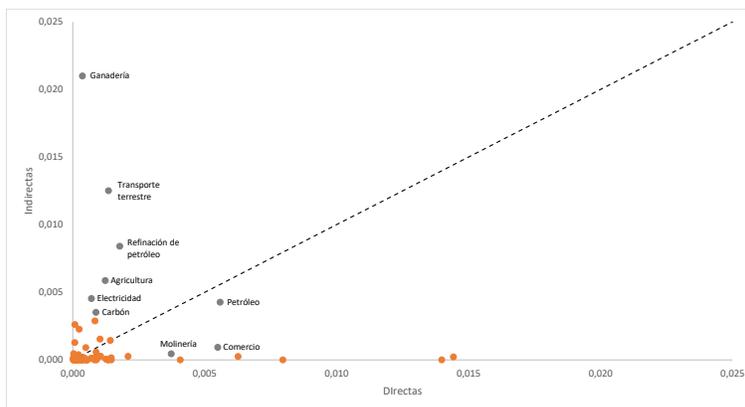
Los encadenamientos están normalizados con respecto al promedio que es representado por los ejes.

Cálculos del autor.

Fuente: con base en la MIP 2017 publicada por el DANE y las emisiones del BUR3.

El sector de la electricidad se clasifica como un sector “altamente contaminante” (**Gráfico 2b**), siendo responsable del 3,8% de las emisiones totales. Aunque para el sector, la matriz energética es bastante “limpia”, ya que la generación de energía hidroeléctrica corresponde a tres cuartas partes de la generación total, las emisiones generadas del sector han crecido de manera constante a través del tiempo. Como lo muestran Patiño, Alcántara y Padilla (2021), durante el período 1971–2017 la tasa de crecimiento económico promedio anual fue del 3,8 % en Colombia, mientras que la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue del 2,2 % y las emisiones del consumo de energía primaria del 2,5 %. Razón por la que es un gran desafío sostener la meta de crecimiento económico y a la vez mantener bajo control las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía –esto es, cumpliendo los compromisos adquiridos por Colombia para la reducción de GEI–, a menos que exista un cambio estructural de la matriz energética, para generar una desacople de la relación hasta ahora observada entre crecimiento económico y generación de emisiones por parte del sector energético.

Gráfico 3. Fuente de las emisiones (ponderadas)

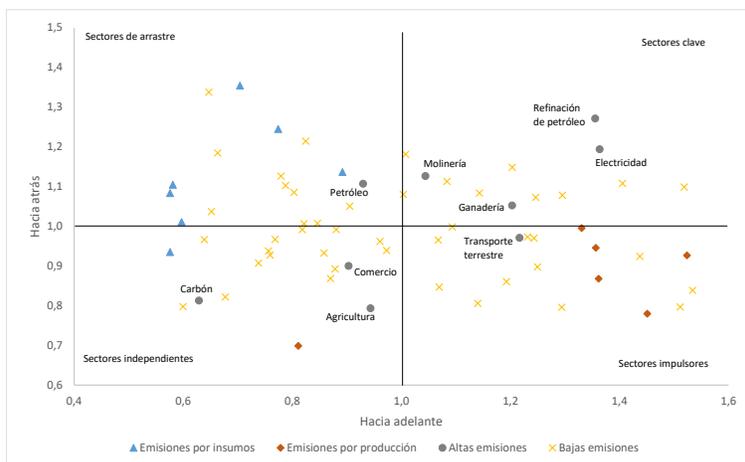


La línea punteada representa la línea de 45°.

Cálculos del autor.

Fuente: con base en la MIP 2017 publicada por el DANE y las emisiones del BUR3.

Gráfico 4. Clasificación sectorial y emisiones



Cálculos del autor.

Fuente: Matriz Insumo – Producto 2017 y las emisiones del BUR3.

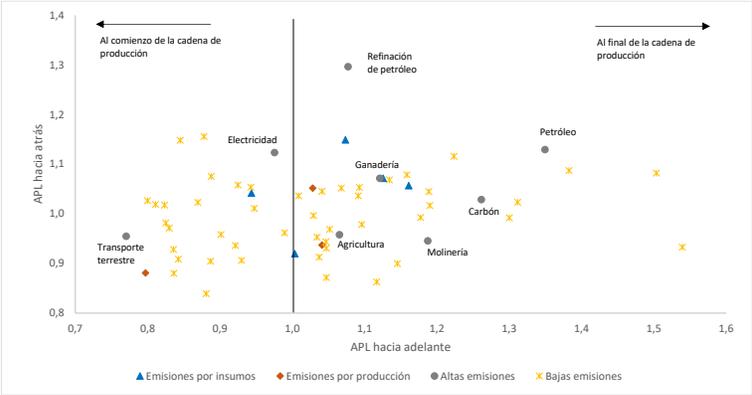
Como se puede observar en el Gráfico 3, para la mayoría de los sectores contaminantes, la fuente principal de sus emisiones no son la forma de producción directa, sino la de sus insumos utilizados –esto es, de su producción indirecta–. En este sentido, las políticas de transformación productiva pueden estar encaminadas hacia llevar a que, por ejemplo, los fertilizantes usados en el sector agrícola sean menos contaminantes, y de esta manera disminuir tanto la contaminación en la producción de fertilizantes como en el sector agrícola. De otra parte, en el caso de

que sea la forma de producción directa la fuente de la contaminación, se debería transformar la forma de producción del sector hacia formas más amigables con el medio ambiente.

Ahora bien, los sectores “más contaminantes” pueden estar relacionados con los sectores “clave” de la economía (Gráfico 4) y/o con los sectores que concentran su actividad en la producción de bienes intermedios o bienes finales (Gráfico 5). Los sectores que son “clave” y “más contaminantes” son: ganadería, molinería, refinación de petróleo y electricidad. Entonces, la aplicación de cualquier clase de política sobre estos sectores impactaría en significativa medida a toda la economía.

En el caso del sector de electricidad, hay consenso de que su transformación debería estar enfocada hacia una mayor eficiencia del sector y un cambio de la matriz energética hacia la generación de energía “más limpia” (por ejemplo, hidrogeno, eólica y/o fotovoltaica), para de esta manera desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones de GEI por parte del sector energético.

Gráfico 5. Cadena de la producción y emisiones



Cálculos del autor.

Fuente: Matriz Insumo – Producto 2017 y las emisiones del BUR3.

En cuanto a la refinación del petróleo, se ha ido avanzado en el sentido de que la producción del sector tenga un menor componente de emisiones de GEI, al ir aumentando la cantidad de producción de biocombustibles, y de manera indirecta con los incentivos para el cambio del parque automotor hacia los sistemas híbridos y eléctricos. En el caso de la ganadería, el sector enfrenta un gran reto para la

transformación del sector, ya que la reducción de GEI (particularmente, metano) se puede hacer mediante el aumento de la productividad, el mejoramiento genético, y la reformulación de la dieta, aunque ello generaría un aumento considerable en los costos de producción, con sus consecuentes restricciones prácticas.

De otra parte, se puede observar que la producción de la mayoría de los sectores con mayores emisiones está dedicada especialmente a la producción final, a excepción de los sectores de electricidad y transporte terrestre cuya producción es utilizada principalmente como insumo intermedio, lo cual presenta una oportunidad para reducir las emisiones de GEI totales, ya que al reducirse sus emisiones GEI, se amplificaría tal reducción de manera importante hacia toda la economía.

## Vulnerabilidades macroeconómicas

A continuación, se presenta la forma en que los indicadores son calculados para tener una *proxy* para las vulnerabilidades macroeconómicas en las dimensiones externa, fiscal y socioeconómica, esta último desde el punto de vista del mercado laboral (empleo y salarios). Adicionalmente, se muestran los resultados en cada una de las dimensiones mencionadas.

### Dimensión externa

La exposición externa muestra que tan vulnerable puede ser una economía ante una reducción en las exportaciones de los sectores que pueden ser considerados “más contaminantes”. Para el caso de Colombia, gran parte de las exportaciones son realizadas por los sectores petrolero y carbonífero<sup>14</sup>, por lo que una reducción de la producción de estos sectores puede llevar a importantes restricciones de la balanza de pagos, afectando la estabilidad macroeconómica y, por tanto, el crecimiento sostenible en el largo plazo.

---

<sup>14</sup> Para los últimos diez años éstas han representado, en promedio, el 56,2% de las exportaciones totales.

Para estimar esta vulnerabilidad se calcula la generación neta de divisas del sector, mediante la cual se muestra el volumen de divisas que no ingresarían al país si dejara de exportarse productos de los sectores más contaminantes. Para esto, se calculan las exportaciones sectoriales por unidad de producción ( $expo_i$ ), las cuales vienen dadas por:

$$expo_i = \frac{exportaciones_i}{x_i} \quad (11)$$

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, para producir estos bienes exportados, los sectores necesitan importar insumos. Por lo tanto, para medir la generación neta de divisas de cada sector, es necesario calcular los insumos importados, directos e indirectos, incorporados en la producción sectorial, los cuales se pueden obtener como:

$$m = e^T A_m M'' \quad (12)$$

donde,  $A_m$  es la matriz de consumo intermedio importado y  $m$  es un vector fila del consumo intermedio importado en la producción del sector.

La generación neta de divisas por unidad de producción exportada ( $nx_i$ ), descontados los insumos importados directos e indirectos incorporados, está dada por:

$$nx_i = expo_i(1 - m_i) \quad (13)$$

De otra parte, para medir la importancia de un sector en la generación de las divisas en el país, se suma el aumento neto de divisas y se divide por el aumento total de divisas:

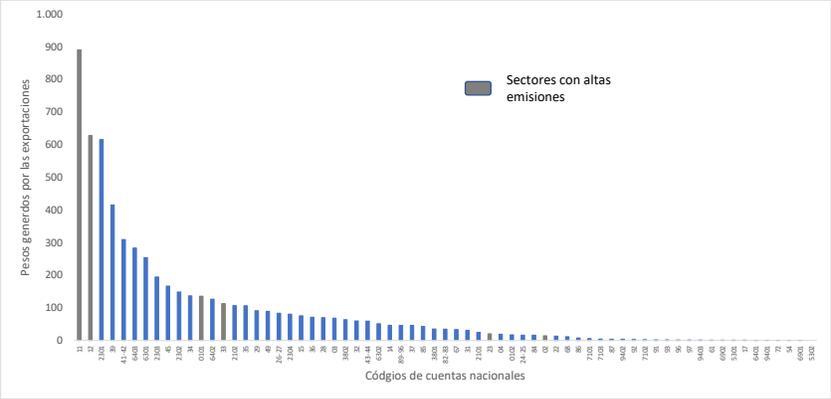
$$shnx_i = \frac{nx_i * x_i}{\sum_i nx_i * x_i} \quad (14)$$

Como se puede observar en el Gráfico 6 y el Cuadro 2, hay una alta dependencia del sector externo del país en los sectores petrolero y carbonífero, ya que generan el 42,9% de las divisas por exportaciones, gracias a que el sector petrolero exporta

un 72,2% de su producción y el sector carbonífero un 94,9%, además de que se distinguen por una moderada utilización de insumos importados en su producción<sup>15</sup>.

De otra parte, si bien las exportaciones de café por peso producido, representadas por el sector de trilla, se equiparan con el caso del petróleo, al ser estos de \$616 con respecto a \$628 por cada \$1000 producidos, la participación del café en los ingresos totales de las exportaciones en el país sólo alcanza el 5,6%, en comparación con el 25,3% del petróleo. Luego, ante una reducción de la producción del sector petrolero y carbonífero la economía se tornaría especialmente vulnerable en el frente externo, en concordancia con los resultados de Godin *et al.* (2023), quienes realizan distintas simulaciones de trayectorias hacia una descarbonización de la economía colombiana, encontrando una elevada vulnerabilidad del sector externo que depende de la duración de la transición hacia la descarbonización.

Gráfico 6. Importancia en la generación de divisas de las exportaciones



Con base en la Matriz Insumo – Producto 2017 y la MCS de 2017

Cálculos del autor.

<sup>15</sup> Hernández (2015) encuentra que, para 2010, el componente importado para el sector minero- energético era del 8,2%. Esto es, por cada \$100 reportados por exportaciones del sector, \$92 ingresan (en términos netos) al país.

Cuadro 2. Generación de ingresos por las exportaciones (los 10 más altos)

	Ingresos por cada \$1000 producidos	Importancia	Exportaciones / producción	Participación en las exportaciones	Componente importado
Carbón	891	15,6%	94,9%	13,4%	6,1%
Petróleo	628	27,3%	72,2%	25,3%	13,0%
Trilla	616	5,8%	73,6%	5,6%	16,3%
Recuperación de materiales	415	0,9%	43,9%	0,7%	5,4%
Metales básicos	309	5,9%	39,8%	6,1%	22,3%
Transporte aéreo	283	3,3%	36,3%	3,4%	22,0%
Alojamiento	254	1,7%	27,7%	1,5%	8,4%
Cacao	195	0,5%	26,2%	0,6%	25,8%
Maquinaria de oficina	166	0,9%	32,0%	1,4%	48,0%
Azúcar	148	1,1%	16,2%	1,0%	8,8%

Con base en la Matriz Insumo – Producto 2017 y MCS de 2017.

Cálculos del autor.

## Dimensión fiscal

Para identificar cuáles sectores pueden generar una mayor vulnerabilidad fiscal del país, se estima la tasa impositiva efectiva sobre la producción a nivel sector, que considera los impuestos pagados por los productos, los impuestos parafiscales y los impuestos sobre el capital. De la siguiente forma:

$$t_i^y = \frac{t_i^{producción}}{x_i} + \frac{t_i^{salarios}}{x_i} + \frac{t_i^{capital}}{x_i} \quad (15)$$

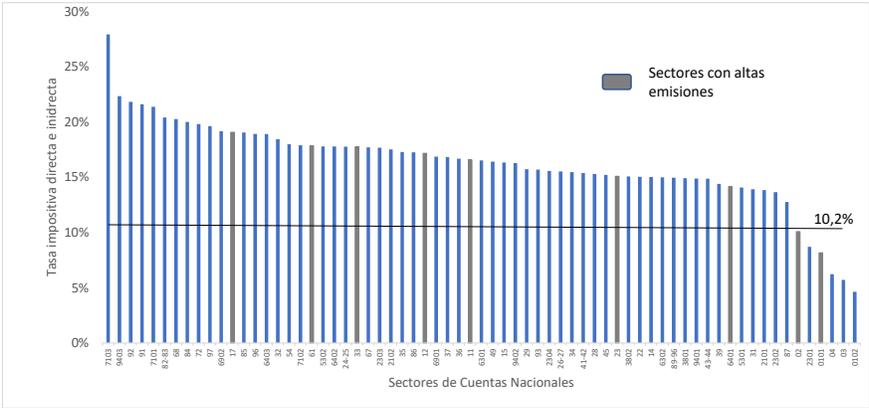
El efecto del impuesto, directo e indirecto, pagado por la producción puede ser calculado como:

$$\tau^y = \widehat{t^y} M \quad (16)$$

Como se observa en el Gráfico 7, los sectores de ganadería y agricultura, “altamente contaminantes”, tienen claramente una menor carga impositiva que el promedio, dado que son los receptores de las mayores subvenciones y exenciones tributarias. De otra parte, la carga impositiva sobre los sectores es bastante uniforme, y los demás sectores “más contaminantes” no presentan una mayor carga impositiva que otros sectores de la economía. Ahora bien, en esta dimensión es importante considerar la contribución de las regalías provenientes de los sectores de petróleo

y carbón en los ingresos fiscales del gobierno, ya que se han convertido en un recurso importante para la inversión pública a nivel local. Es de recordar que en el marco de la Ley 1530 de 2012<sup>16</sup>, la inversión de las regalías es de libre destinación, lo cual no ocurría bajo el anterior marco normativo<sup>17</sup>, que tenía una destinación específica.

Gráfico 7. Tasa efectiva de impuestos sobre la producción



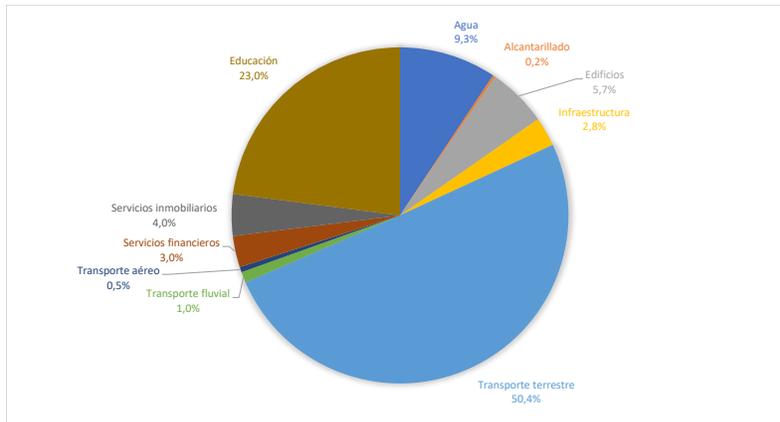
Con base en la Matriz Insumo – Producto 2017 y la MCS de 2017  
Cálculos del autor.

Así, por ejemplo, la producción de carbón en Colombia representa más de 80% de las regalías del sector minero y 15% de las regalías del sector minero-energético, aparte de que cerca del 90% del carbón se exporta, llegando a \$4,16 billones en 2020. De acuerdo con la UPME, en 2020 la producción nacional de carbón cayó en un 41,3%, llevando a que las exportaciones se redujeran en un 26,5% frente a 2019. Esto llevó a que finales del mismo año, Prodeco hiciera una reestructuración de sus negocios, empezando por retirarse de las concesiones en minas de carbón que operaba en Colombia, lo cual fue aprobado a finales del primer trimestre del 2021 por la Agencia Nacional de Minería. De esta forma, la salida indefinida del mercado por parte de Prodeco, representa una disminución del 21% de la producción nacional de carbón, con una pérdida de \$300 mil millones en regalías al año y de 1,200 empleos a nivel nacional.

<sup>16</sup> El cual cobija estos cálculos.

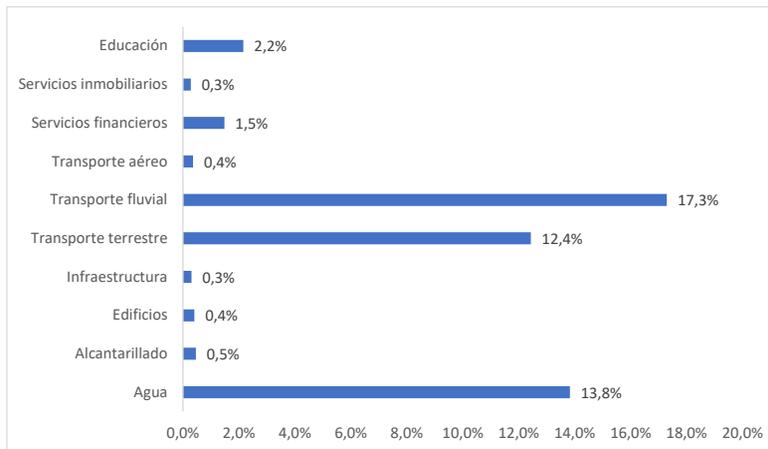
<sup>17</sup> Esto es, las leyes 209 de 1995, 756 de 2002, 863 de 2003 y 1283 de 2009.

Gráfico 8. Participación sectorial de la inversión de regalías para 2017



Elaborado por el autor, con base en los registros del sistema general de regalías y cuentas nacionales

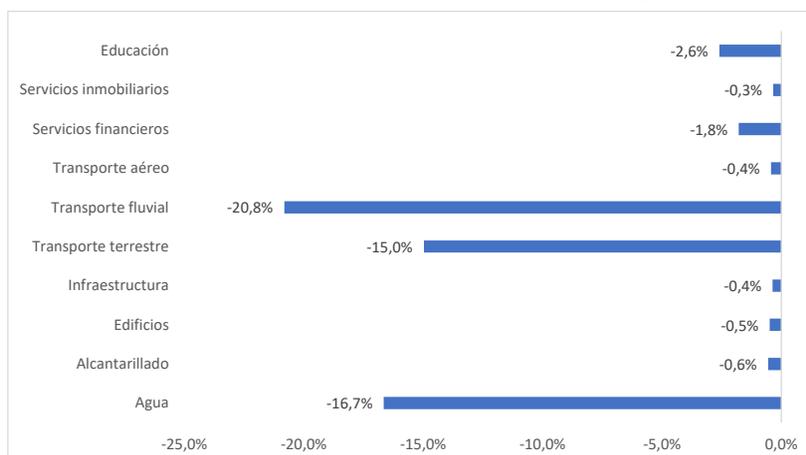
Gráfico 9. Participación de las regalías en la inversión sectorial en 2017



Elaborado por el autor, con base en los registros del sistema general de regalías y cuentas nacionales

Para estimar la importancia de estos recursos, se realiza una simulación del impacto de un choque negativo sobre la inversión, enmarcada en un modelo Leontief básico, ante una reducción en el monto de las regalías utilizadas en proyectos de inversión para 2017.

Gráfico 10. Efecto sectorial de una reducción en las regalías



Con base en la Matriz Insumo – Producto 2017 y datos del SGR  
Cálculos del autor.

En el Gráfico 10 se presentan los resultados de la simulación a nivel sectorial. Como se aprecia, los sectores más afectados son los de transporte terrestre y aéreo, además del sector de agua y educación. A nivel macroeconómico, el efecto es relativamente moderado, al ser de una reducción del PIB de 0,72%, aunque hay que tener en cuenta que este tipo de inversiones es realizado especialmente a nivel local o departamental, por lo que su impacto a nivel municipal e incluso departamental puede ser sustancialmente mayor, ya que hay municipios o departamentos para los cuales estos recursos son muy importantes<sup>18</sup>.

### Dimensión socioeconómica

Los países que dependen de los sectores “altamente contaminantes” para generar empleo y sufragar salarios, bajo un escenario de transición baja en carbono podrían aumentar las desigualdades y los niveles de pobreza, como consecuencia de las pérdidas de empleo que se pueden generar, dado el alto costo de sustituir estos sectores por otros menos contaminantes, y por tanto, el proceso de transición, a nivel socioeconómico, puede resultar significativamente costoso.

<sup>18</sup> En Hernández (2020) se muestra el impacto diferencial, a nivel departamental, de las inversiones en regalías.

Para hacer una estimación de las vulnerabilidades a nivel socioeconómico se consideran dos subdimensiones los efectos sobre el empleo y la generación de ingresos salariales. En cuanto al empleo, se recurrió a estimar la generación de empleo indirecto, a través del cálculo del multiplicador del empleo para cada uno de los sectores. De otra parte, es importante conocer cómo se comportan los ingresos ante una reducción de la producción en un sector dado, para lo cual se calcula la generación, directa e indirecta, de salarios del sector con respecto al promedio de la economía.

Al estimar el multiplicador del empleo, hay que tener en cuenta que los datos suministrados por el DANE se desagregan a 25 sectores. El multiplicador del empleo se refiere al número de trabajadores necesarios por unidad de producto, como:

$$n_i = \frac{\text{empleo}_i}{x_i} \quad (17)$$

Luego procede a calcular el empleo involucrado, directa e indirectamente, en el proceso productivo de cada uno de los sectores, como:

$$N = \hat{n}M \quad (16)$$

En este caso, al hacer el cálculo de los sectores “más contaminantes” para la agregación de 25 sectores, se encuentra que estos sectores son: agricultura y ganadería, minería, refinación de petróleo y transporte y almacenamiento. De acuerdo con los datos del DANE, los sectores de comercio y agricultura y ganadería generan una tercera parte del empleo de la economía<sup>19</sup>. En el caso del sector agrícola, algunas políticas de adaptación para la descarbonización que impulsen el sector podrían mejorar el empleo del país. Sin embargo, hay que considerar que el cambio tecnológico que requiere el sector ganadero puede afectar negativamente la generación de empleo del sector.

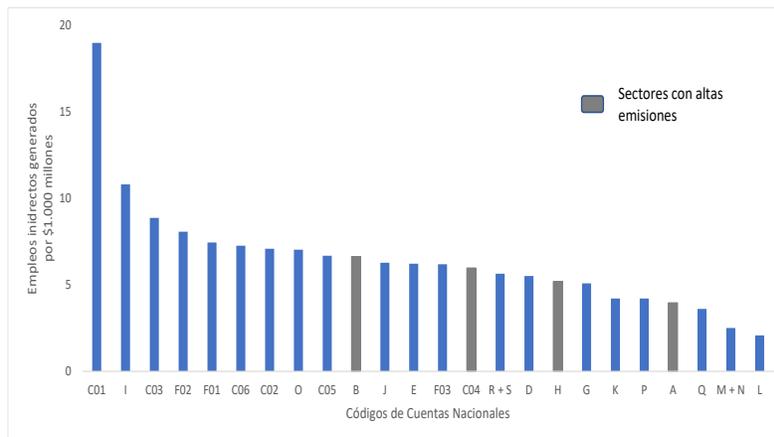
A diferencia, los sectores de minería (que participa con el 0,9% del empleo total) y refinación de petróleo (que participa con el 1,4% del empleo total) son poco

---

<sup>19</sup> Cálculos a partir de las matrices de empleo del DANE para 2017: el sector de comercio representa el 19.6% del empleo total, mientras que el sector agrícola es del orden del 15,2%.

intensivos en la utilización de trabajo en su proceso productivo. Como lo muestra el Gráfico 11, una reducción en la producción de estos sectores (sectores B y C04) disminuye la capacidad de respuesta de creación de empleo de la economía. Aunque esto podría ser contrarrestado al incentivar el sector de electricidad (sector D), que es el que tiene un multiplicador similar, como se ha mencionado anteriormente, puede ser incentivado mediante el impulso el cambio tecnológico y la transición hacia energías más limpias.

Gráfico 11. Multiplicador del empleo



Agregación a 25 sectores de Cuentas Nacionales  
 Con base en la Matriz Insumo – Producto y matriz de empleo 2017.  
 Cálculos del autor.

En el caso de los salarios, para medir la importancia de un sector se calcula la contribución salarial sectorial directa por unidad de producción:

$$w_i = \frac{\text{salarios}_i}{x_i}$$

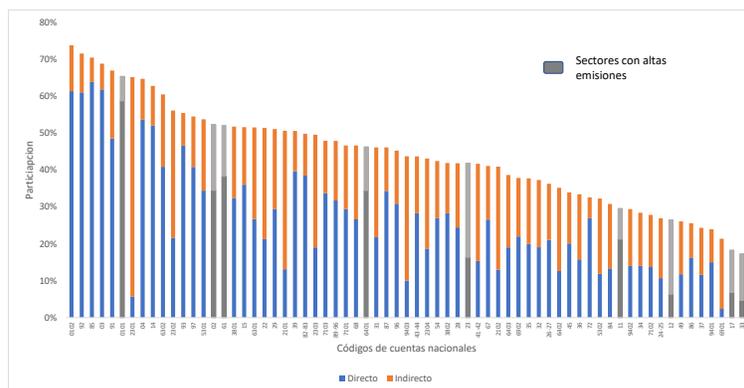
Y luego, estimar la participación directa e indirecta de los salarios en la economía como:

$$W = \hat{w}M \tag{17}$$

Dado que los sectores de minería y refinación de petróleo no son intensivos en empleo en su producción, contrario a lo que sucede en agricultura y ganadería, la participación de los salarios es muy baja. Luego, la vulnerabilidad surge del cambio

que se pueda dar en el sector agropecuario, al ser un generador importante de ingresos salariales, particularmente en la zona rural (Gráfico 12).

Gráfico 12. Participación de los salarios en la producción



Para el cálculo de los salarios se incluye: las remuneraciones a salariables y el ingreso mixto

Con base en la Matriz Insumo – Producto 2017.

Cálculos del autor.

## Exposición macroeconómica a nivel multidimensional

Hay que considerar que una vulnerabilidad externa alta ante los sectores “más contaminantes” no implica necesariamente una elevada exposición macroeconómica para el conjunto de la economía. Esto es, si hay una reducción de divisas internacionales, como consecuencia de una disminución de la producción de bienes intensivos en emisiones, una economía que posea una alta capacidad productiva y tecnológica para migrar a otros sectores o para transformar estos sectores en una transición baja en carbono, puede transitar más fácilmente de un producto (sector) a otro, lo que implica que, *ceteris paribus*, los países con alta sofisticación tecnológica y complejidad productiva serían menos vulnerables en una estrategia de descarbonización.

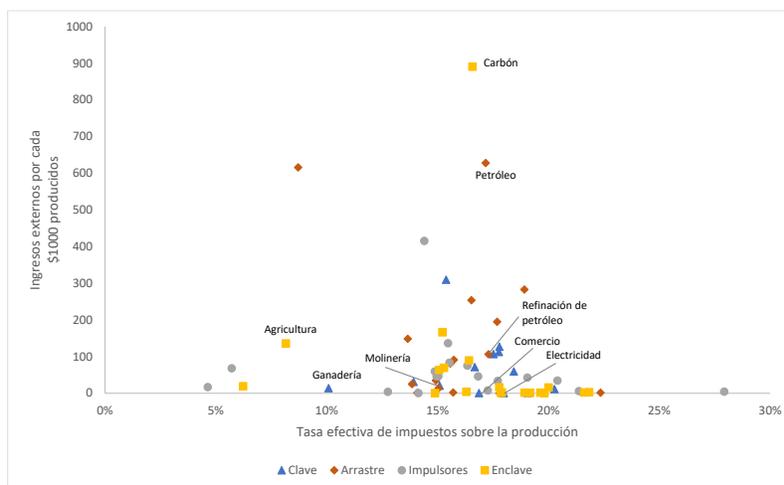
Como se puede apreciar en el Gráfico 13, el sector petrolero y el carbonífero son los principales generadores de ingresos (en dólares) para el país, por lo que políticas de descarbonización implican riesgos de crisis en balanza de pagos, al no

contar con una forma alternativa expedita para generar suficientes ingresos (en dólares) para la economía.

Mealy y Teytelboym (2020) desarrollaron un método para estimar las capacidades de los países en productos verdes, basado en el enfoque de la complejidad económica (Hidalgo, 2021). El potencial de complejidad verde (GCP, por sus siglas en inglés) indica qué países tienen mayores capacidades tecnológicas y productivas para migrar a productos verdes en función de los productos para los que ya son competitivos.

En el caso de Colombia, en términos de complejidad económica se encuentra en el puesto 87 entre 130 países, en promedio para el período 2016–2020, después de haber estado en el puesto 104 entre 130 países, para el período 2011–2015, por lo que, al menos en principio, habría mejorado relativamente su de por sí modesto potencial de diversificar su economía hacia productos más “verdes”. De cualquier forma, la capacidad de migrar hacia sectores menos contaminantes resulta muy baja para Colombia, además de que sus exportaciones son altamente dependientes de los sectores de carbón y petróleo. Razón por la que la exposición externa de la economía colombiana es bastante alta, lo que conlleva un alto riesgo macroeconómico o vulnerabilidad para la economía.

Gráfico 13. Exposición externa y fiscal



Cálculos del autor.

De otra parte, se puede observar cómo los sectores “más contaminantes” tienen unas tasas efectivas de impuestos a la producción muy similares a otros sectores, con lo cual las finanzas públicas se verían igualmente afectadas por una reducción en su producción. Ahora bien, como se mencionó anteriormente, la vulnerabilidad fiscal se incrementa ostensiblemente al tomarse en cuenta tanto la caída de las regalías provenientes del sector minero-energético que son invertidas por los departamentos y municipios con precarios ingresos fiscales propios, como el impacto negativo de la reducción de los ingresos por utilidades que transfiere Ecopetrol a las arcas de la Nación.

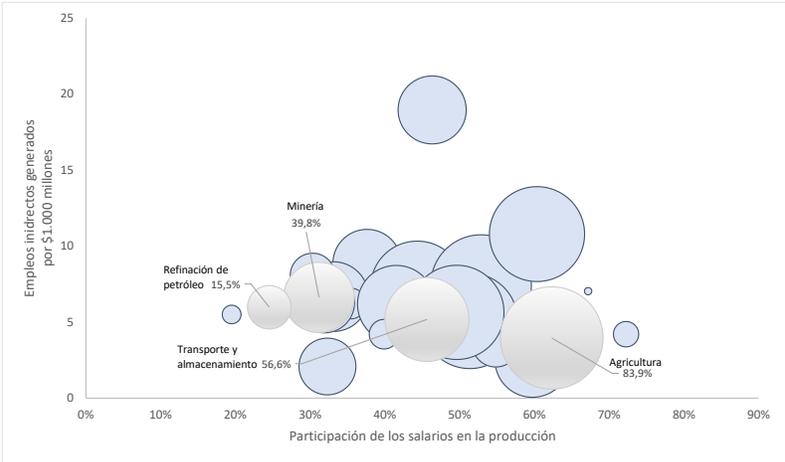
Además, aunque, al menos en principio, los ingresos fiscales no se vean muy afectados vía impuestos, sí podrían verse impactados negativamente a través de la disminución de la inversión, al no contar con los recursos de las regalías y al agudizarse restricciones financieras para la consecución de recursos fiscales adicionales. Al fin de cuentas, el país se enfrenta a una importante vulnerabilidad en el ámbito fiscal.

En el caso de la exposición socioeconómica, hay que tener en cuenta que una alta exposición no significa necesariamente una alta vulnerabilidad. Sin embargo, países con una alta exposición socioeconómica a la transición baja en carbono, que tienen elevados niveles de desigualdad de ingresos, una gran proporción de la población por debajo del umbral de pobreza y bajas coberturas de seguridad social, como ocurre en el caso de Colombia, son más vulnerables que países en los que a pesar de que las industrias “más contaminantes” puedan ser importantes para la economía, cuentan con mayor complejidad productiva y capacidad tecnológica, con más elevado ingreso per cápita, menores niveles de pobreza y desigualdad y cuya población esté relativamente bien protegida contra la pérdida de puestos de trabajo.

En el Gráfico 14 se puede apreciar la exposición socioeconómica de la economía, donde el eje vertical presenta el multiplicador de empleo del sector y el eje horizontal la intensidad de los salarios en el valor de producción. Dicha exposición pareciera ser baja ya que los sectores “más contaminantes” tienden a ser menos intensivos

en empleo y con una proporción de salario en la producción incluso un poco menor que el promedio de la economía.

Gráfico 14. Exposición socioeconómica



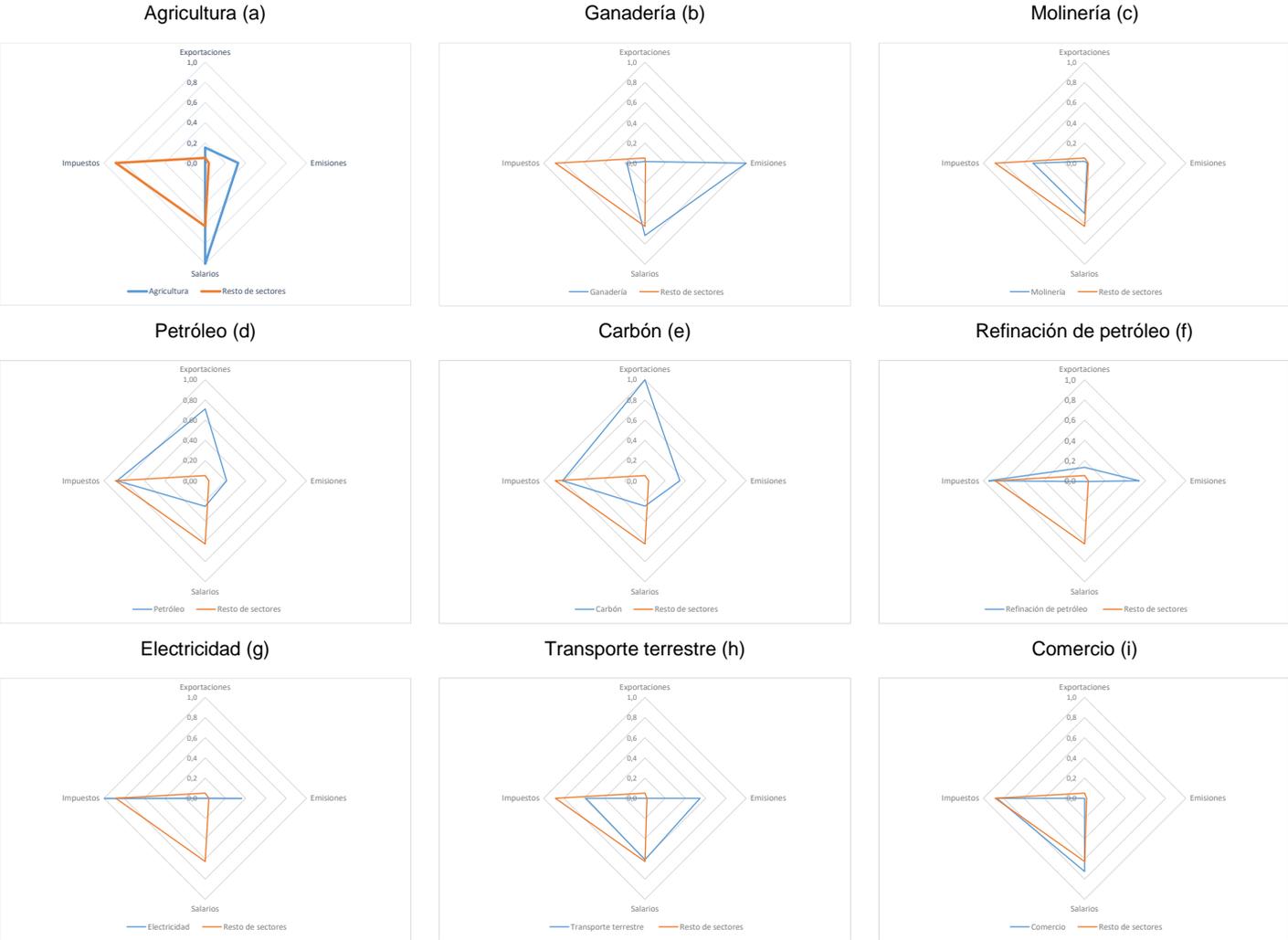
El tamaño de la burbuja corresponde la tasa de informalidad de acuerdo con la definición del DANE  
Cálculos del autor.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el mercado laboral es bastante informal –la tasa de informalidad es cercana al 60%–, con lo que las personas tienen poco acceso a la protección social, como seguro de desempleo, pensión, etcétera. Esto puede implicar que un choque negativo, consecuencia de la descarbonización, por ejemplo, puede no ser absorbido fácilmente, razón por la cual la exposición y vulnerabilidad socioeconómica puede ser bastante alta.

Como se mencionó anteriormente, analizar la exposición y vulnerabilidades de los sectores debe hacerse de una manera multidimensional. De esta forma, en el Gráfico 15 se presentan los resultados de esta manera, para hacer una comparación entre los sectores más contaminantes con respecto al resto de sectores de la economía. Como se puede apreciar, la exposición del sector es bastante alta, ya que los sectores extractivos (petróleo y carbón), que son los principales generadores de divisas, ante políticas activas descarbonización de buscar alternativas a los combustibles fósiles, tanto en el país como a nivel mundial, pueden sufrir un choque negativo, dejando al país sin al menos parte de esta fuente de divisas externas.

Ahora bien, en los otros frentes, las vulnerabilidades fiscales o socioeconómicas parecen no tener un gran impacto sobre la economía, con excepción del sector agrícola en el frente socioeconómico. Sin embargo, en el ámbito fiscal hay que tener en cuenta dos aspectos clave: i) la disminución de las regalías, que en algunos municipios del país es la principal fuente de financiación, y ii) la disminución de ingresos fiscales, por los dividendos de Ecopetrol. En el último caso, ya se ha puesto en marcha una transformación de los negocios de esta empresa estatal hacia energías más limpias. Respecto a la disminución de regalías, se deben asegurar fuentes alternativas de financiamiento para suplir la falta de inversión de los municipios.

Gráfico 15. Exposición multidimensional



El valor asociado a cada una de las dimensiones es un índice que se construye como  $(valor - valor\ mínimo) / (valor\ máximo - valor\ mínimo)$ .

La dimensión de las exportaciones es el valor generado por cada \$1000 exportados; la dimensión de las emisiones es el coeficiente de las emisiones con respecto a la producción; la dimensión de los salarios es la participación, directa e indirecta, de estos en la producción; la dimensión fiscal es la tasa de impuestos pagada, directa e indirectamente, por su producción.

Cálculos del autor.

En el caso de la vulnerabilidad socioeconómica, se podría argumentar que la vulnerabilidad es baja, pero esto no implica que la exposición socioeconómica no exista, ya que la capacidad de absorber un choque negativo sobre el mercado laboral radica principalmente en la cobertura de la protección social, la cual es muy baja en el país, consecuencia de una tasa de informalidad que ronda el 60%. Como lo muestra Espagne *et al.* (2023), en comparación con otros países, la exposición socioeconómica es mayor que la exposición externa para Colombia.

## Conclusiones

La transición hacia una economía más verde, vía la reducción de emisiones, puede exponer a la economía colombiana ante diferentes vulnerabilidades y riesgos, los cuales serán mayores en cuanto más grande sea la dependencia con respecto a los sectores intensivos en carbono. El éxito o fracaso de lograr la neutralidad en carbono dependerá de la dependencia respecto a los sectores de bajas y altas emisiones de GEI y sus conexiones con: i) el resto del mundo, a través de la balanza comercial y financiera, ii) el sector público, mediante los ingresos fiscales, y iii) los hogares, a través de los ingresos laborales y el empleo.

Al analizar la capacidad del país para adaptar su estructura productiva se puede observar cómo la alta dependencia con respecto al sector petrolero y carbonífero implica un riesgo importante en el sector externo en caso de una reducción de su nivel de producción, dada la cuantiosa generación de divisas por exportaciones de estos sectores. A nivel fiscal, aunque no hay una gran dependencia a los impuestos pagados de estos sectores, ya que su tasa impositiva es muy cercana al promedio de la economía, hay que considerar los efectos que pueden tener las regalías sobre la economía, ya que estas son muy importantes para la inversión de las economías

locales. A nivel socioeconómico, más que la exposición a estos sectores, hay que considerar que la elevada informalidad presenta un riesgo latente, ya que, ante una reducción del empleo, es muy baja la cobertura por parte del sistema de protección social.

También se ha puesto de manifiesto la importancia relativa del sector energético para mitigar, al menos parcialmente, las posibles afectaciones de una reducción en la producción del sector petrolero y carbonífero, ya que al ser uno de los sectores clave para la economía, implica que cualquier tipo de política que los afecte se amplía y se esparce rápidamente por toda la economía. Adicionalmente, el energético es uno de los sectores que tiene gran potencial para transformarse para reducir sus emisiones de GEI, a través de una mayor eficiencia de su producción y en el tránsito hacia energías más limpias.

A nivel socioeconómico, hay que tener en cuenta dos consideraciones de política: i) la necesidad de mitigar los efectos de una reducción en la producción del sector petrolero y carbonífero y ii) el reconocimiento de que muchas de las políticas ligadas a la reducción de emisiones de GEI, están relacionadas con el cambio tecnológico. En cuanto a la reducción de la producción de los sectores de carbón y petróleo, los efectos sobre el empleo pueden ser mitigados mediante la transformación productiva hacia sectores de baja contaminación más intensivos en trabajo. Ahora bien, en cuanto al cambio tecnológico, se debe dar alternativas para que las personas puedan emplearse en otras actividades, políticas activas para el mejoramiento de las habilidades de los involucrados en los procesos, e involucrar a las personas en el proceso de cambio tecnológico de las actividades en las que se vean involucrados.

## Referencias

Alcántara, V., E. Padilla y Piaggio, M. (2014). *Economic structure and key sectors analysis of greenhouse gas emissions in Uruguay*. Economic Systems and Research, Vol. 26 (2), pp. 155 – 176.

Banco Mundial (2023). Colombia - Informe Sobre el Clima y el Desarrollo del País. CCDR Serie, Banco Mundial.

Corredor, G. (2018). *Colombia y la transición energética*. Ciencia Política, Vol. 13 (25), pp. 107 – 125.

Cortés, M. y Pinzón, R. (2000). Bases de Contabilidad Nacional Según el SCN 1993. DANE.

Espagne, E., Godin, A., Magacho, G., Mantes, A. and Yilmaz, D. (2023). *Macroeconomic exposure of developing economies to low-carbon transition*. World Development, Vol. 167, pp. 1 – 19.

Godin , A., Yimaz, D., Guevara, D. Andrade, J., Rojas, L., Barbosa, S. y Hernández, G. (2023). Can Colombia cope with a Global Low Carbon transition? AFD, *Research Papers.*, No 285.

Hernández, G. (2015). *Especialización Vertical en Colombia: una primera aproximación*. Coyuntura Económica, Vol. XLV (1), pp. 171 – 191.

Hernández, G. (2020). Impacto de las regalías: Un análisis insumo - producto. Departamento Nacional de Planeación, Archivos de Economía No 506.

Hernández, G. (2021). *Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia*. El Trimestre Económico, Vol. 88 (350), pp. 523 – 550.

Hidalgo, C. (2021). *Economic complexity theory and applications*. Nature Reviews Physics, (3), pp. 92 – 113.

Hirschman, A. (1961). *La estrategia del desarrollo económico*. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.

IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2021). Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM.

Mealy, P. and Teytelboym, A. (2020). *Economic complexity and the green economy*. Research Policy, Vol. 58 (1), pp. 1 – 24.

Patiño, L., Alcántara, V. and Padilla, E. (2021). *Driving forces of CO<sub>2</sub> emissions and energy intensity in Colombia*. Energy, Policy, (151), pp. 1 – 18.

Román, R., Cansino, J, M. and Rodas, J. (2018). *Analysis of the main drivers of CO<sub>2</sub> emissions changes in Colombia (1990 – 2012) and its political implications*. Renewable Energy, (116), pp. 402 – 411.

UNFCCC (2015). Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Paris: United Nations.