

# Estrategia de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en República Dominicana: un análisis de insumo producto

---

Dr. Luis Miguel Galindo





## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este estudio es un análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a la estructura económica con base en la matriz de insumo producto para República Dominicana para construir una estrategia de mitigación eficiente y creíble con base en la matriz de insumo producto.

La evidencia presentada muestra que las emisiones de gases de efecto invernadero están estrechamente asociadas a la estructura económica. Así, se observa que existe una asociación positiva entre los sectores con mayor participación en la estructura económica (VBP o PIB) y el consumo de energía (electricidad, gas y agua, transporte, productos químicos y maquinaria) y los sectores con mayor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero (electricidad, gas y agua, transporte y agricultura). En este sentido, instrumentar un proceso de mitigación de gases de efecto invernadero requiere incidir en la actual estructura económica.

Estos escenarios prospectivos muestran que la trayectoria del PIB estará acompañada con un aumento del empleo, del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero. Ello plantea una paradoja del desarrollo. El crecimiento económico es indispensable para mejorar las condiciones económicas asociados a un mayor empleo, pero, al mismo tiempo, este crecimiento económico se asocia con un aumento de las emisiones de GEI.

Estos escenarios muestran claramente que los escenarios inerciales donde se mantiene constante la estructura productiva y las condiciones de producción son inconsistentes con un proceso de descarbonización profunda. Estos escenarios prospectivos muestran que mantener una trayectoria inercial deriva en una paradoja del desarrollo sostenible. El crecimiento económico se asocia a un aumento del producto y el empleo, pero, también no implica una reducción del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero para alcanzar una economía carbono neutral. De este modo, para transitar a una economía carbono neutral entre 2050-207 es necesario instrumentar un conjunto de transformaciones a la actual estructura económica.

Instrumentar una estrategia de descarbonización profunda requiere considerar fundamentalmente a aquellos sectores con mayor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero y los sectores con los multiplicadores de emisiones más altos y la composición de estos multiplicadores. Así, los multiplicadores de los sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero corresponden a textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería. Estos sectores representan en conjunto el 36.6% de las emisiones totales de GHG. Debe además considerarse al sector transporte y la agricultura. Por su parte, los multiplicadores ponderados por la demanda final indican que los sectores con mayores emisiones corresponden a textiles, productos metálicos y reciclaje.

**Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud**



Estos resultados sugieren que la estrategia de mitigación debe concentrarse en textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería y transporte y agricultura por su relevancia absoluta y contener el dinamismo y reducir la intensidad de emisiones de sectores como textiles, productos metálicos y reciclaje.

La composición de estas emisiones permite observar que las emisiones directas son más importantes en los sectores de textiles, electricidad, gas, agua, reciclaje y transporte y las emisiones indirectas son más importantes en los sectores de textiles, reciclaje, otra manufactura, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria. En este sentido, una estrategia de mitigación debe considerar que en los sectores con mayores emisiones directas es necesario instrumentar procesos de innovación tecnológica mientras que en los sectores con mayores emisiones indirectas la innovación tecnológica al interior del sector es insuficiente y es necesario incorporar estrategias multisectoriales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los índices de Rasmussen indican que el sector textil representa un sector impulsor y que los sectores estratégicos son sectores como la intermediación financiera, construcción y comercio y, por tanto, un aumento en su demanda final puede aumentar su contribución a la emisión de gases de efecto invernadero, pero no necesariamente genera un efecto de arrastre importante. De este modo, la estrategia de mitigación debe considerar que los sectores como el textil con un alto potencial de arrastre debe incidir en la estrategia de mitigación a lo largo de la cadena productiva mientras que los sectores estratégicos deben concentrar su estrategia de mitigación al interior de los sectores y en la evolución de la demanda. Destaca, además, la presencia de múltiples sectores considerados como independientes.

El análisis de descomposición estructural muestra, además, que los cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero se asocia a cambios en la estructura de la demanda y en cambios en la función de producción.

De este modo, el proceso de descarbonización profunda requiere entonces instrumentar profundos y amplios cambios estructurales. Sin embargo, la estrategia de mitigación debe diferenciar por sectores atendiendo a su papel dentro de la estructura productiva. Ello lleva a instrumentar una estrategia de mitigaciones eficiente y creíble.



## 1. INTRODUCCIÓN.

El cambio climático representa un problema de desarrollo atendiendo a los costos económicos, sociales y ambientales que ocasiona y a las transformaciones estructurales que implica instrumentar los procesos de mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) para llegar a una economía carbono neutral entre 2050-2070 (Dell. et al., 2014, IPCC, 2014, IPCC, 2018). En efecto, la evidencia disponible actualmente muestra que los efectos del cambio climático son amplios y generalizados en el conjunto de la economía, son probablemente no lineales con puntos de no retorno, más intensos en países y regiones con menor desarrollo y más calurosas y donde el cambio climático incide en el nivel y la tasa de crecimiento del producto de largo plazo. Asimismo, el Acuerdo de París de Cambio Climático establece la meta de estabilizar el aumento de temperatura entre 1.5°C y 2°C durante este siglo lo que requiere construir economías carbono neutral ente 2050-2070. La evidencia disponible muestra que construir una economía carbono neutral entre 2050-2070 requiere realizar transformaciones estructurales substanciales y urgentes al actual estilo de desarrollo (Galindo, et al., 2021). Por ejemplo, requiere desacoplar las trayectorias del producto y del consumo de energía, masificar el uso de la electricidad en toda la economía y transformar la matriz de generación de electricidad para basarla en energías renovables.

En este contexto, resulta fundamental identificar las relaciones que existen entre la estructura económica y su evolución con las emisiones de gases de efecto invernadero. Ello permite identificar los esfuerzos que es necesario realizar para construir una economía carbono neutral entre 2050-2070 en República Dominicana y, además, identificar, estrategias que contribuyan a un proceso de mitigación más eficiente.

De este modo, el objetivo de este estudio es un análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a la estructura económica con base en la matriz de insumo producto para República Dominicana para construir una estrategia de mitigación eficiente y creíble.

El estudio tiene siete secciones. La primera es, obviamente, la introducción, la segunda es el marco conceptual de la matriz de insumo producto, la tercera sección presenta la evidencia para República Dominicana y, finalmente, la cuarta sección concluye.



## 2. MARCO CONCEPTUAL DE LA MATRIZ DE INSUMO PRODUCTO (IO).

### 2.1 Matriz de insumo producto.

La matriz de insumo producto describe a una economía con  $n$  sectores donde el sector  $i$  distribuye el valor de su producción ( $x_i$ ) entre las ventas (intermedias) de los otros sectores ( $z_{ij}$ ) y la demanda final ( $f_i$ ) (Miller y Blair, 2009):

$$(1) \quad x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + f_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i$$

La ecuación (1) se define en forma matricial como (INEGI, 2013):

$$(2) \quad \mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f}$$

Donde  $x$  representa el valor de la Producción Bruto,  $Z_i$  corresponde a la demanda intermedia,  $f$  es la demanda final e  $i$  es un vector columna de unos

La ecuación (2) puede también representarse como función del Valor Bruto de la Producción (Miller y Blair, 2009):

$$(3) \quad \mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}$$

Donde las filas representan las ventas (insumos) por sector y las columnas las compras por sector,  $x$  representa el producto total (Valor Bruto de la Producción -VBP-),  $f$  es la demanda final (valor agregado, ingreso o producto final) y  $A$  es la matriz de coeficientes técnicos o de requerimientos directos donde el coeficiente  $a_{ij}$  corresponde a la razón entre los insumos intermedios ( $z_{ij}$ ) y el producto ( $x_i$ ) del sector:

$$(4) \quad a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$$

Donde  $i$  representa el sector fila y  $j$  el sector columna.

La ecuación (4) puede reordenarse como (Leontief, 1986):

$$(5) \quad \mathbf{x} - \mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{f}$$

Tomando factor común a  $x$ :

$$(6) \quad (\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{f}$$

Re-ordenando la ecuación (6):

$$(7) \quad \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$



Donde  $L = (I - A)^{-1} = I + A_2 + A_3 + \dots$  representa la matriz inversa de Leontief (1986) donde se incluyen a las demandas directas e indirectas que permiten estimar los impactos de un incremento en la producción de un sector.

De este modo, un gasto adicional se traduce en un aumento del VBP:

$$(8) \quad \Delta f = (I - A)^{-1} \Delta f = L^{-1} f$$

## 2.2. Multiplicadores de producto de la matriz de insumo producto.

El análisis de impacto de un aumento de la demanda se realiza con base en los multiplicadores de la matriz de IO. Estos multiplicadores permiten identificar los efectos combinados directos, indirectos e inducidos<sup>1</sup> de un cambio en la demanda final. Ello permite, por ejemplo, realizar diversas simulaciones que dependen del nivel proyectado de demanda (PIB).

Los multiplicadores del producto se derivan de la ecuación (9) (Miller y Blair, 2009, Fabris, 2016):

$$(9) \quad x = (I - A)^{-1} Y = Lf$$

Donde  $L = (I - A)^{-1}$ .

De este modo el multiplicador del producto debido al aumento de una unidad de la demanda agregada corresponde a:

$$(10) \quad \Delta x_t(1) = L_t \Delta Y f_t$$

El multiplicador del producto corresponde a la suma de los elementos de una columna de la matriz inversa de Leontief (L) para un determinado sector. Los multiplicadores del producto ( $\Delta x_t$ ) corresponden a:

$$(11) \quad m(0)_1 = \frac{\sum \text{de elemtnso de } \Delta x(1)}{\text{Unidad de demanda agregada}} = m(0)_1 = i' \Delta x(1) = \sum_{i=1}^n l_{i1}$$

Donde  $i$  es un vector columna de unos. En forma general:

$$(12) \quad m(0)_1 = \sum_{i=1}^n l_{ij}$$

Los multiplicadores para el empleo, la energía y diversos contaminantes son una modificación de la lógica de un aumento de una unidad en la demanda final:  $\Delta y_j = 1 \rightarrow \Delta x_i$  a  $\Delta y_j = 1 \rightarrow$  alguna función de  $\Delta x_i$ .

---

1. Los efectos inducidos se obtienen al cerrar el modelo de insumo producto al incluir, por ejemplo, el consumo dentro de la matriz de transacciones intermedias (Miller y Blair, 2009).



### 2.3 Multiplicadores de la energía.

Los multiplicadores de la energía consideran que la oferta de energía incluye:

- Energía primaria: petróleo, gas y minería,
- Energía secundaria: refinación de petróleo y electricidad.

De este modo, se define la condición de conservación de la energía como (Miller y Blair, 2009):

$$(13) \quad \alpha_{kj}x_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ki}z_{ij} + g_{kj}$$

Donde  $\alpha_{kj}$  es el total de energía de tipo  $k$  para producir una unidad de valor en el sector  $i$ ,  $x_j$  es total de producto del sector  $j$  y  $z_{ij}$  es el valor del sector  $i$  consumido por el sector  $j$  (ventas intermedias) y  $g_{kj}$  es el producto de energía total del sector energía

La ecuación (13) puede representarse en forma matricial:

$$(14) \quad \mathbf{ax} = \mathbf{aZ} + \mathbf{G}$$

Con  $Z = Ax$ .

Despejando para obtener los requerimientos totales de energía se obtiene:

$$(15) \quad \mathbf{a} = \mathbf{Gx}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

### 2.4 Multiplicadores de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero<sup>2</sup>.

El modelo de Insumo Producto (IO) se define como (INEGI, 2013)

$$(16) \quad \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$

**De este modo, las emisiones que se generan por un aumento de la demanda (PIB) se definen como (Chatellier y Sheinbaum, 2017).**

$$(17) \quad \mathbf{g} = (\mathbf{D}^p\mathbf{L}) \mathbf{f} = \mathbf{B}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$

Donde  $\mathbf{g}$  es un vector del nivel de emisiones de  $\text{CO}_2e_t$  que se asocia a un determinado nivel de demanda agregada y  $\mathbf{B}$  es una matriz de intensidad de emisiones a producto. Esta relación puede también representarse con la matriz que corresponde a matriz de coeficientes de impacto de emisiones o el multiplicador de emisiones (Cansino et al., 2016, Miller y Blair, 2009).

---

2. El conjunto de la metodología con otros multiplicadores de empleo y energía se incluyen en el Apéndice.



La ecuación (17) permite estimar (Blair y Miller, 2009):

- La generación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- El abatimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Zhang y Folmer, 1998).

De este modo, el incremento del Valor Bruto de la Producción (VBP) el consumo de energía directa, indirecta e inducida (ecuación (15)) y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero directas, indirectas e inducidas (ecuación (17)) (Antonopoulos, et al., 2011):

## 2.5. Escenarios.

Los escenarios elaborados para los requerimientos de empleo, energía y emisiones de gases de efecto invernadero para diversos escenarios de PIB consideran el modelo simple que se define como (Miller y Blair, 2009, Hernández-Díaz, 2011).

$$(18) \quad \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = \mathbf{L}\mathbf{f}$$

Donde  $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ .

Las simulaciones consideran los siguientes supuestos:

- Los precios relativos se mantienen constantes.
- La tecnología, que se refleja en los coeficientes técnicos, es constante.
- La oferta es elástica.

## 2.6. Sectores clave.

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se derivan de la estructura económica donde existen algunos sectores que concentran la mayor parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Identificar estos sectores, que concentran la mayor parte de las emisiones, resulta fundamental para diseñar una estrategia de mitigación eficiente.

La determinación de los sectores clave en las emisiones de GEI se basa en la metodología de los criterios de agrupación de los índices de Rasmussen (1963) y Hirschman (1958) donde se clasifican a los sectores con emisiones directas e indirectas por arriba del promedio (Alcántara, 2007).

De este modo, se define a un vector  $\mathbf{B}$  que contiene a los coeficientes de las emisiones sectoriales directas como (Hoen y Mulder, 2003, Zhang y Lahr, 2014, Casler y Blair, 1997).

$$(19) \quad \mathbf{g} = \mathbf{B}\mathbf{x}$$



Substituyendo en la ecuación (20) al valor de la Producción por la matriz inversa de Leontief y la demanda agregada se obtiene:

$$(20) \quad \mathbf{g} = \mathbf{c}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y}$$

Estos multiplicadores pueden ponderarse por su participación en la demanda agregada final para evitar sesgos derivados del tamaño y de la estructura tecnológica en los sectores (Piaggio et al., 2014). Estos multiplicadores se ordenan jerárquicamente para identificar a aquellos con valores más altos donde se consideran aquellos por arriba de la media.

## 2.7. Análisis de descomposición estructural (SDA).

El análisis de Descomposición Estructural (Structural Decomposition Analysis -SDA-) busca identificar las causas de los cambios en la demanda final y, por este conducto, identificar las causas de los cambios en las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Akpan, et al., 2015).

Existen actualmente múltiples estudios que descomponen la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero que utilizan diversos tipos de descomposiciones (Cansino, et al., 2016 y Dietzenbacher y Los 1998, Zhang (2009, Chang et al., (1998), Lim et al., (2009), Alcantara et al., 2010, Lenzen, 2016, Skolka, 1989. Zhang y Qi, 2011, Rose y Chen 1991, Su y Ang, 2012).

La descomposición que se utiliza en este estudio se basa en la ecuación de emisiones de CO<sub>2</sub>e:

$$(21) \quad \mathbf{g} = (\mathbf{D}^p \mathbf{L})\mathbf{Y} = \mathbf{B}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$

Así, el marco conceptual de la Descomposición Estructural (SDA) para las emisiones de CO<sub>2</sub>e puede definirse considerando las matrices de dos diferentes años (Blair y Miller, 2009):

$$(22) \quad \mathbf{gei}^{10} = \boldsymbol{\alpha}^{10}\mathbf{f}^{10}$$

$$(23) \quad \mathbf{gei}^{20} = \boldsymbol{\alpha}^{20}\mathbf{f}^{20}$$

Donde  $\mathbf{gei}$  representa las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los índices de los años corresponden, por ejemplo, a 2010 y 2020.

El aumento de las Emisiones de Gases de Invernadero entre los dos periodos se define como:

$$(24) \quad \mathbf{gei}^{20} = (\boldsymbol{\alpha}^{10} + \Delta\boldsymbol{\alpha})(\mathbf{Y}^{10} + \Delta\mathbf{f})$$

Reordenando términos:

$$(25) \quad \mathbf{gei}^{20} = \boldsymbol{\alpha}^{10}\mathbf{f}^{10} + \boldsymbol{\alpha}^{10}\Delta\mathbf{f} + \Delta\boldsymbol{\alpha}\mathbf{f}^{10} + \Delta\boldsymbol{\alpha}\Delta\mathbf{f}$$

Donde  $\Delta\boldsymbol{\alpha}$  es la matriz de cambios en los coeficientes técnicos y  $\Delta\mathbf{f}$  es el cambio en la demanda final.

La diferencia en las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre los dos periodos se define como:

$$(26) \quad \mathbf{gei}^{20} - \mathbf{gei}^{10} = \boldsymbol{\alpha}^{10}\mathbf{f}^{10} + \boldsymbol{\alpha}^{10}\Delta\mathbf{f} + \Delta\boldsymbol{\alpha}\mathbf{f}^{10} + \Delta\boldsymbol{\alpha}\Delta\mathbf{f} - \boldsymbol{\alpha}^{10}\mathbf{f}^{10}$$



Combinando términos se obtiene que:

$$(27) \quad \mathbf{g}e^{i^{20}} - \mathbf{g}e^{i^{10}} = \alpha^{10}\Delta\mathbf{f} + \Delta\alpha\Delta\mathbf{f} + \Delta\alpha\mathbf{f}^{10} + \Delta\alpha\Delta\mathbf{f}$$

Definiendo:  $\Delta\alpha = \alpha^{20} - \alpha^{10} = \alpha^{10}\Delta\alpha + \Delta\alpha\mathbf{f}^{10}$  y  $\Delta\mathbf{f} = \mathbf{f}^{20} - \mathbf{f}^{10}$  entonces:

$$(28) \quad \mathbf{g}^{20} - \mathbf{g}^{10} = \alpha^{10}\Delta(\mathbf{f}^{20} - \mathbf{f}^{10}) + (\alpha^{20} - \alpha^{10})\mathbf{f}^{10} + (\alpha^{20} - \alpha^{10})(\mathbf{f}^{20} - \mathbf{f}^{10})$$

Donde:

- $\alpha^{10}\Delta(\mathbf{f}^{20} - \mathbf{f}^{10})$  corresponde a los cambios en la demanda final.
- $(\alpha^{20} - \alpha^{10})\mathbf{f}^{10}$  corresponde a los cambios ocasionados por la función de producción.
- $(\alpha^{20} - \alpha^{10})(\mathbf{f}^{20} - \mathbf{f}^{10})$  son los efectos de interacción entre la demanda final y la función de producción.



### 3. RESULTADOS.

#### 3.1. Base de datos.

La base de datos consiste en las matrices de insumo producto de República Dominicana para los 2015 y 2010. Estas matrices incluyen el empleo, el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La base de datos proviene de Eora Global MRIO (2023)

#### 3.2. La evidencia de estructura y tasas de crecimiento por sectores.

La evidencia disponible indica que;

- Los sectores con mayor participación en el VBP son: Intermediación Financiera y Actividades Empresariales; Educación, Salud y Otros Servicios; Comercio al por mayor y Construcción (Cuadro 1, Gráfico 1).
- Los sectores con mayor participación en el PIB son: Intermediación Financiera y Actividades Empresariales; Educación, Salud y Otros Servicios, así como Administración Pública (Cuadro 1, Gráfico 2).
- Los sectores con mayor participación en el consumo de energía son electricidad, gas y agua, transporte, productos químicos y electricidad y maquinaria (Cuadro 1, Gráfico 3).
- Los sectores con mayor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero son electricidad, gas y agua, transporte y la agricultura (Cuadro 1, Gráfico 4).
- Existe una estrecha relación positiva entre la evolución del PIB y el consumo de energía, el PIB y las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (Gráfico 5, Gráfico 6, Gráfico 7).

Cuadro 1. Valor Bruto de la Producción, Producto Interno Bruto y Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Sectores	Demanda Final	% Demanda final	TCM Demanda Final	VBP	%VBP	TCMVBP	Energía	% Energía	TCMEnergía	GHG	%GHG
Agricultura	477.89	0.76	2.42%	1595.75	1.61	1.92%	996.35	0.41	1.43%	2231.79	6.60
Pesca	24.94	0.04	2.43%	143.46	0.14	2.22%	2.32	0.00	1.26%	195.06	0.58
Minas y canteras	104.80	0.17	2.02%	1502.07	1.51	1.76%	88.13	0.04	-1.11%	2689.91	7.96
Alimentos y Bebidas	2708.92	4.29	2.23%	3491.32	3.51	2.06%	285.95	0.12	-0.79%	556.19	1.65



# LEARNING by DOING

Textiles y prendas de vestir	277.88	0.44	2.10%	397.16	0.40	1.92%	225.89	0.09	-0.38%	504.58	1.49
Madera y Papel	253.32	0.40	2.37%	1870.25	1.88	2.03%	108.71	0.04	-0.49%	325.79	0.96
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1253.75	1.98	2.38%	5007.45	5.04	2.19%	14141.25	5.85	-3.22%	2305.85	6.82
Productos metálicos	152.15	0.24	2.56%	1819.71	1.83	1.85%	141.70	0.06	-0.43%	369.09	1.09
Electricidad y Maquinaria	2639.29	4.18	2.72%	4600.07	4.63	2.21%	10175.36	4.21	-5.09%	719.84	2.13
Equipo de transporte	1767.30	2.80	2.59%	2484.44	2.50	2.36%	180.93	0.07	-0.56%	412.83	1.22
Otra Manufactura	434.66	0.69	2.45%	737.90	0.74	2.12%	1728.42	0.71	-5.17%	282.66	0.84
Reciclaje	243.06	0.38	2.15%	269.82	0.27	2.10%	749.03	0.31	-5.64%	231.94	0.69
Electricidad, Gas y Agua	1111.73	1.76	2.28%	2582.77	2.60	2.02%	136679.67	56.53	0.44%	10316.43	30.51
Construcción	5325.32	8.43	2.95%	6201.30	6.24	2.63%	777.34	0.32	-1.20%	586.53	1.73
Mantenimiento y reparación	188.20	0.30	2.36%	247.89	0.25	2.29%	23.31	0.01	-0.75%	207.57	0.61
Comercio al por mayor	3067.44	4.85	2.45%	6750.02	6.79	2.28%	645.96	0.27	-1.06%	617.46	1.83
Comercio al por menor	4919.07	7.78	2.24%	5264.85	5.30	2.24%	365.43	0.15	-1.07%	428.95	1.27
Hoteles y Restaurantes	3663.60	5.80	2.29%	4277.04	4.31	2.21%	449.71	0.19	-1.14%	483.80	1.43
Transporte	1647.22	2.61	2.34%	3728.10	3.75	2.45%	72137.39	29.84	0.12%	7583.88	22.43
Correos y Telecomunicaciones	1954.09	3.09	2.39%	3853.63	3.88	2.33%	291.96	0.12	-1.01%	382.52	1.13
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	15066.98	23.84	2.21%	25857.27	26.03	2.32%	499.49	0.21	-0.06%	797.45	2.36
Administración Pública	5348.01	8.46	2.60%	5395.81	5.43	2.60%	479.02	0.20	-1.05%	496.71	1.47

Educación, Salud y Otros Servicios	10225.00	16.18	2.19%	10732.94	10.80	2.21%	581.42	0.24	-0.83%	667.00	1.97
Hogares privados	162.49	0.26	2.28%	163.79	0.16	2.28%	17.43	0.01	-0.81%	203.61	0.60
Otros	183.45	0.29	2.26%	368.44	0.37	2.31%	15.53	0.01	-0.67%	212.16	0.63
<b>Total</b>	<b>63200.55</b>	<b>100.00</b>	<b>2.85%</b>	<b>99343.24</b>	<b>100.00</b>	<b>2.74%</b>	<b>241787.69</b>	<b>100.00</b>	<b>-0.32%</b>	<b>33809.60</b>	<b>100.00</b>

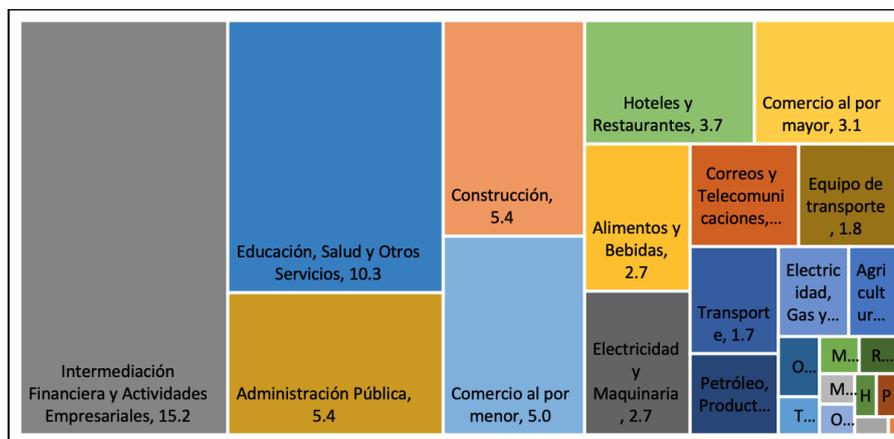
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023 Nota: Cifras de Demanda Final y VBP se encuentran en millones

**Gráfico 1. Participación porcentual por sectores en el VBP.**



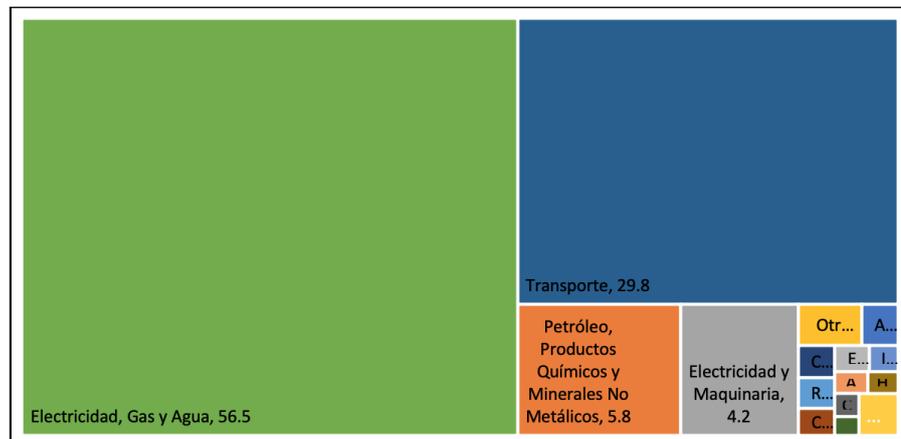
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 2. Participación porcentual por sectores en la Demanda Final**



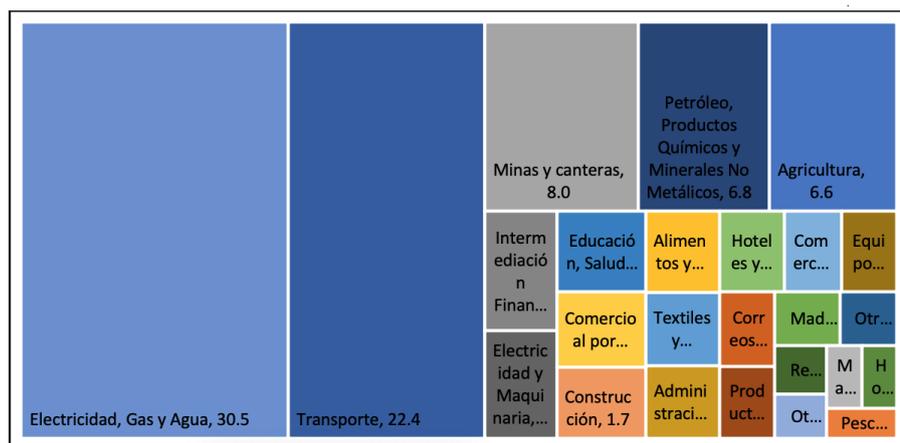
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 3. Participación porcentual por sectores en el consumo de energía**



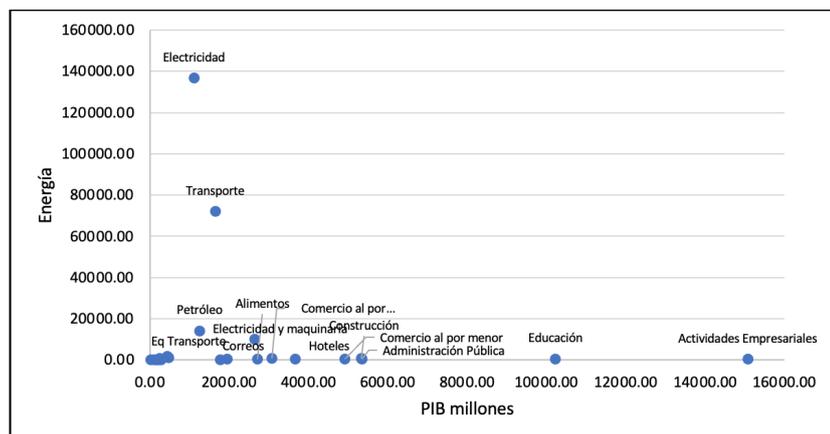
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 4. Participación porcentual por sectores de Gases de Efecto invernadero (GHG)**



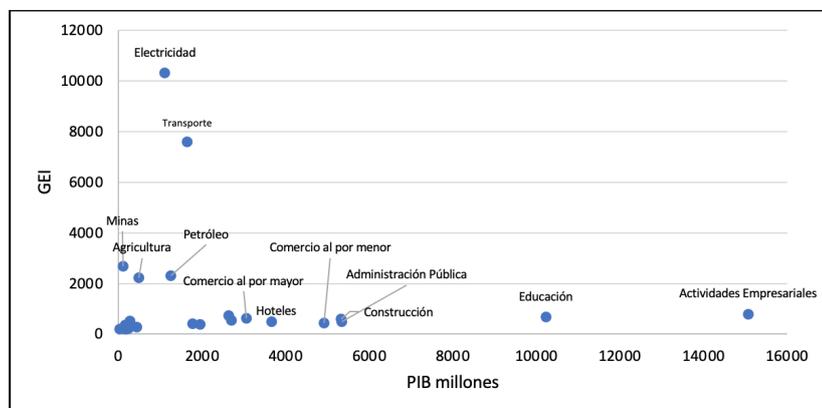
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 5. Participación de los sectores en el Producto Interno Bruto y el consumo de energía.**



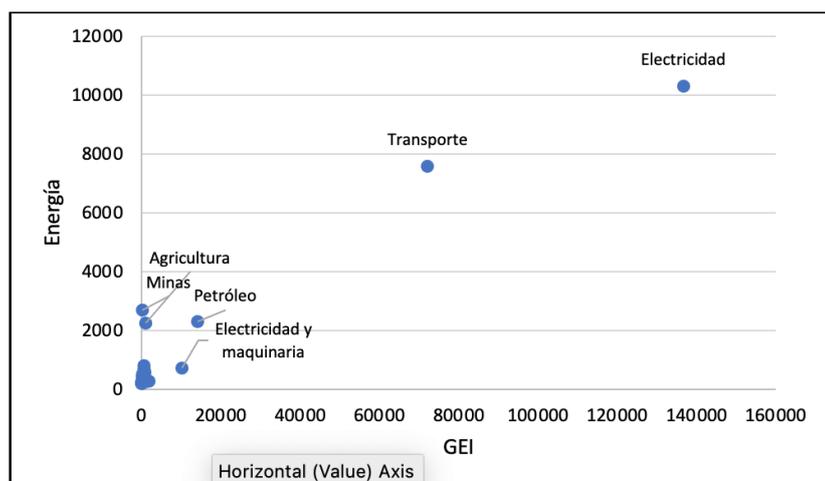
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 6. Participación de los sectores en el Producto Interno Bruto y las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.**



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 7. Participación de los sectores en el consumo de energía y las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.**



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

- Las tasas de crecimiento promedio anual de Demanda Final (PIB), el Valor Bruto de la Producción (VBP) y del consumo de energía son de 2.37%, 2.28% y -0.32%. Las emisiones de gases de efecto invernadero reportadas son similares en 2010 y 2015. Ello lleva a realizar el análisis de descomposición estructural con el consumo de energía que disminuyó en la mayoría de los sectores durante este período.
- Las tasas de crecimiento del PIB de los sectores más dinámicos corresponden a construcción, en consumo de energía a electricidad, gas y agua y en emisiones de gases de efecto invernadero a electricidad, gas y agua y transporte. (Cuadro 1).

Estos resultados muestran que una estrategia de mitigación para ser creíble y eficiente en República Dominicana debe incluir a los sectores de electricidad, gas y agua, transporte. Sin embargo, ello se traduce en incidir en la evolución de algunos de los sectores con mayor participación en el Valor Bruto de la Producción y en la demanda agregada y por tanto en la dinámica económica general.



En este sentido, una estrategia de contener las emisiones en términos absolutos sin incorporar una estrategia de mitigación puede llevar a reducciones en el producto y, consecuentemente en el empleo.

### 3.3. Escenarios prospectivos:

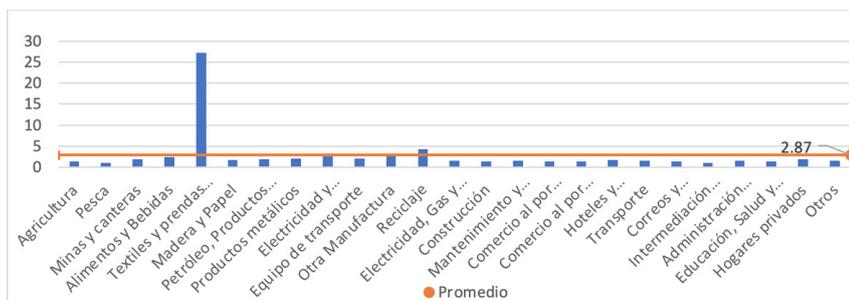
Los escenarios prospectivos se construyen con base en la estimación de los multiplicadores de impacto de producto, consumo de energía y emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Estos multiplicadores se sintetizan en el Cuadro 2.

Los escenarios elaborados para diferentes tasas de crecimiento promedio anual del PIB, mantienen constante la estructura de la matriz de insumo producto al 2030, se sintetizan en el Gráfico 8, el Cuadro 2, en el Cuadro 1.A y en el Cuadro 2.A en el Apéndice. Estos escenarios prospectivos muestran que la trayectoria del PIB estará acompañada con un aumento del empleo, del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero. Ello plantea una paradoja del desarrollo. El crecimiento económico es indispensable para mejorar las condiciones económicas asociados a un mayor empleo, pero, al mismo tiempo, este crecimiento económico se asocia con un aumento de las emisiones de GEI.

Estos escenarios muestran claramente que los escenarios inerciales donde se mantiene constante la estructura productiva y las condiciones de producción son inconsistentes con un proceso de descarbonización profunda. Esto es, en cualquier escenario se observa que existe un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y, en todo caso, el ritmo de crecimiento del PIB solo modifica las tasas de crecimiento de las emisiones.

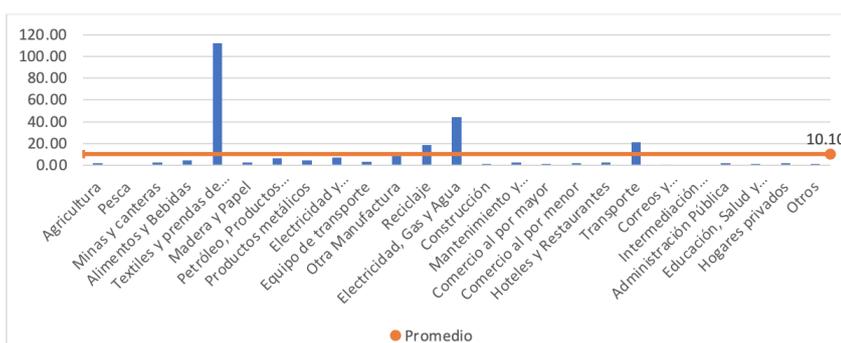
De este modo, para instrumentar un intenso proceso de mitigación es indispensable realizar transformaciones significativas a la actual estructura económica.

**Gráfico 8. Multiplicadores totales simples de impacto del producto.**



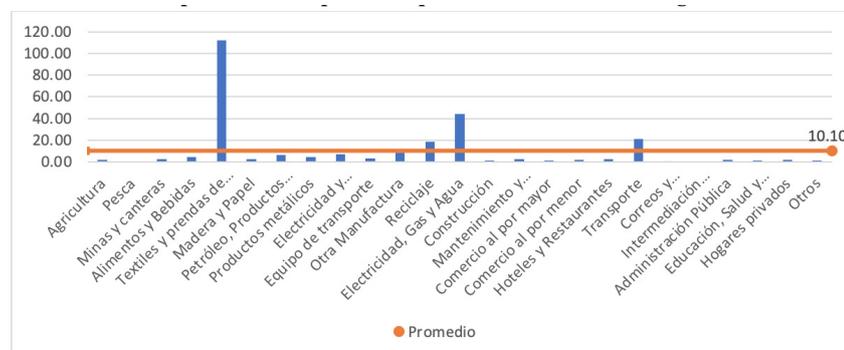
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 9. Multiplicadores totales simples de impacto del empleo.**



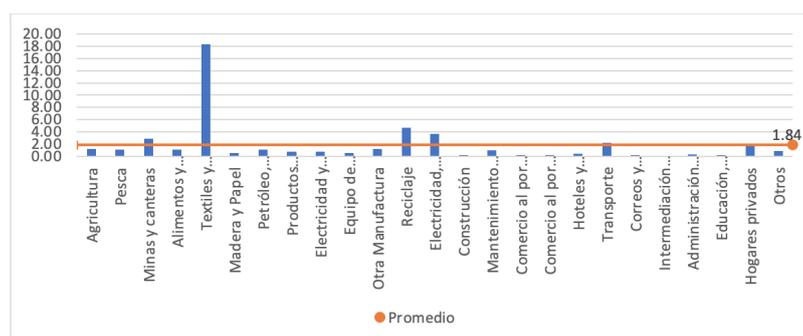
Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 10. Multiplicadores simples de impacto del consumo de energía.**



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Gráfico 11. Multiplicadores simples de impacto de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.**



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

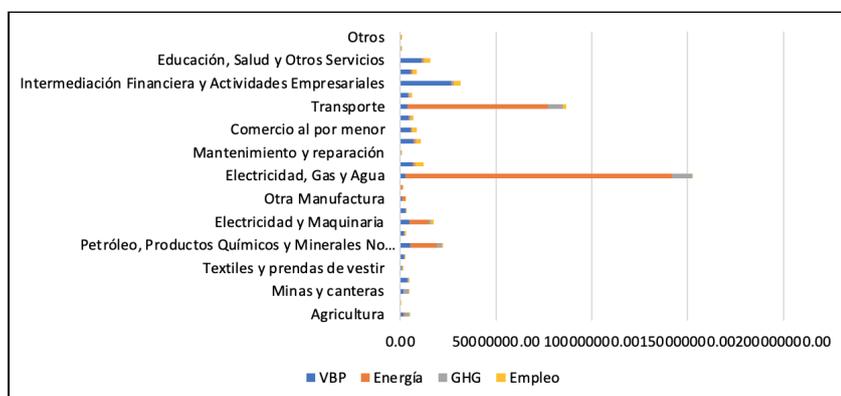
**Cuadro 2. Multiplicadores totales simples de impacto del producto, el empleo, consumo de energía y emisiones de Gases de Efecto Invernadero.**

Sectores	Multiplicadores de energía	Multiplicadores GEI	Multiplicadores de empleo	Producto
Agricultura	0.0029	0.0018	0.16	1.62
Pesca	0.0004	0.0014	0.11	1.13
Minas y canteras	0.0028	0.0029	0.14	1.93
Alimentos y Bebidas	0.0043	0.0010	0.28	2.19
Textiles y prendas de vestir	0.0598	0.0091	3.03	12.64
Madera y Papel	0.0032	0.0006	0.32	1.72
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	0.0070	0.0011	0.25	1.84

Productos metálicos	0.0049	0.0008	0.42	2.03
Electricidad y Maquinaria	0.0058	0.0006	0.50	2.17
Equipo de transporte	0.0026	0.0005	0.32	1.98
Otra Manufactura	0.0067	0.0010	0.49	2.33
Reciclaje	0.0127	0.0031	0.33	3.08
Electricidad, Gas y Agua	0.0588	0.0049	0.18	1.68
Construcción	0.0025	0.0004	0.43	1.76
Mantenimiento y reparación	0.0027	0.0011	0.40	1.61
Comercio al por mayor	0.0018	0.0003	0.38	1.65
Comercio al por menor	0.0022	0.0003	0.38	1.48
Hoteles y Restaurantes	0.0035	0.0005	0.32	1.79
Transporte	0.0220	0.0024	0.39	1.67
Correos y Telecomunicaciones	0.0011	0.0002	0.34	1.47
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	0.0005	0.0001	0.20	1.11
Administración Pública	0.0017	0.0003	0.59	1.52
Educación, Salud y Otros Servicios	0.0012	0.0002	0.48	1.32
Hogares privados	0.0014	0.0014	0.49	1.64
Otros	0.0012	0.0007	0.18	1.48

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

### Gráfico 12. Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con tasa de crecimiento promedio anual de 4% de la Demanda Final al 2030



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023.

Nota: VBP y Empleo se encuentran en miles de unidades



**Cuadro 3. Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con tasa de crecimiento promedio anual de 4% de la Demanda Final al 2030.**

	<b>Demanda Final<sup>1</sup></b>	<b>VBP<sup>1</sup></b>	<b>Energía</b>	<b>GHG</b>
Agricultura	497.01	1614.87	1008280.63	2258527.22
Pesca	25.94	144.46	2338.04	196420.08
Minas y canteras	108.99	1506.26	88374.08	2697416.82
Alimentos y Bebidas	2817.28	3599.68	294825.27	573449.37
Textiles y prendas de vestir	288.99	408.27	232210.49	518706.50
Madera y Papel	263.46	1880.38	109295.97	327558.45
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1303.90	5057.60	14282875.67	2328947.19
Productos metálicos	158.23	1825.80	142173.70	370319.67
Electricidad y Maquinaria	2744.86	4705.65	10408879.92	736358.40
Equipo de transporte	1837.99	2555.13	186080.43	424575.06
Otra Manufactura	452.04	755.29	1769141.82	289314.92
Reciclaje	252.79	279.54	776024.22	240297.36
Electricidad, Gas y Agua	1156.20	2627.24	139032964.65	10494050.59
Construcción	5538.33	6414.32	804046.36	606674.08
Mantenimiento y reparación	195.73	255.41	24018.68	213873.41
Comercio al por mayor	3190.14	6872.72	657703.60	628686.67
Comercio al por menor	5115.84	5461.61	379092.08	444981.87
Hoteles y Restaurantes	3810.15	4423.58	465120.07	500373.66
Transporte	1713.11	3793.99	73412315.76	7717911.78
Correos y Telecomunicaciones	2032.25	3931.79	297877.58	390277.22
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	15669.66	26459.95	511127.26	816036.41
Administración Pública	5561.93	5609.73	498014.80	516405.13
Educación, Salud y Otros Servicios	10634.00	11141.94	603571.49	692419.73
Hogares privados	168.99	170.29	18122.04	211693.34
Otros	190.78	375.78	15837.63	216386.94

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

1. Cifras en millones

### 3.4. Sectores clave.

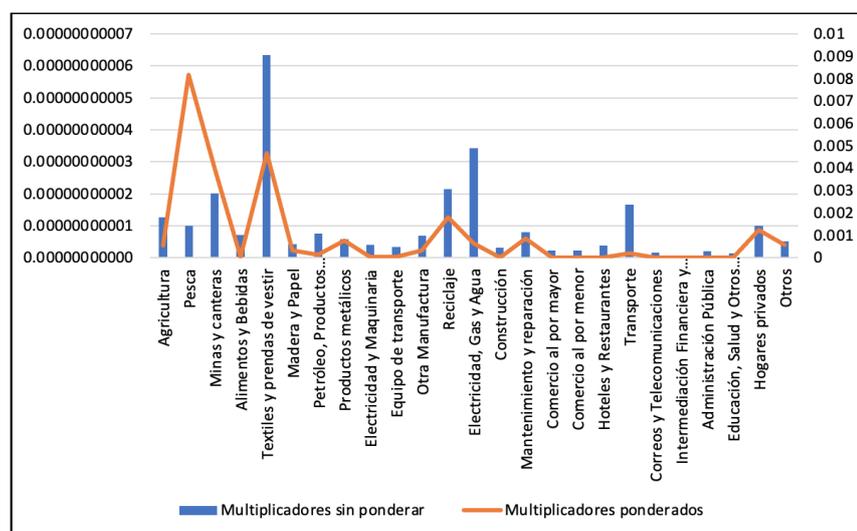
Los multiplicadores de emisiones directas e indirectas por sectores sin ponderar y ponderados por la demanda final, que se obtienen con alguna derivación de la ecuación (7), se sintetizan en el Cuadro 4 y Gráfico 13 (Piaggio, Alcántara y Padilla 2014).

Los multiplicadores sin ponderar indican que los sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero corresponden a textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería. Estos sectores representan en conjunto el 36.6% de las emisiones totales de GHG. Destaca además las emisiones del transporte.

En este sentido, una estrategia de mitigación debe priorizar dichos sectores. Por su parte, los multiplicadores ponderados por la demanda final indican que los sectores con mayores emisiones corresponden a textiles, productos metálicos y reciclaje.

Estos resultados sugieren que la estrategia de mitigación debe concentrarse en textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería por su relevancia absoluta y contener el dinamismo y reducir la intensidad de emisiones de sectores como textiles, productos metálicos y reciclaje.

**Gráfico 13. Multiplicadores de emisiones de gases de efecto invernadero no ponderados y ponderados.**



Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

**Cuadro 4. Multiplicadores de emisiones de gases de efecto invernadero no ponderados y ponderados:**

Sectores	Multiplicadores sin ponderar	Multiplicadores ponderados
Agricultura	0.0018	0.0000000000377
Pesca	0.0014	0.0000000005724
Minas y canteras	0.0029	0.0000000002756
Alimentos y Bebidas	0.0010	0.0000000000038
Textiles y prendas de vestir	0.0091	0.0000000003261
Madera y Papel	0.0006	0.0000000000236
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	0.0011	0.0000000000087
Productos metálicos	0.0008	0.0000000000540
Electricidad y Maquinaria	0.0006	0.0000000000022
Equipo de transporte	0.0005	0.0000000000028
Otra Manufactura	0.0010	0.0000000000225
Reciclaje	0.0031	0.0000000001265

Electricidad, Gas y Agua	0.0049	0.000000000000440
Construcción	0.0004	0.000000000000008
Mantenimiento y reparación	0.0011	0.000000000000606
Comercio al por mayor	0.0003	0.000000000000010
Comercio al por menor	0.0003	0.000000000000006
Hoteles y Restaurantes	0.0005	0.000000000000015
Transporte	0.0024	0.000000000000144
Correos y Telecomunicaciones	0.0002	0.000000000000012
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	0.0001	0.000000000000001
Administración Pública	0.0003	0.000000000000005
Educación, Salud y Otros Servicios	0.0002	0.000000000000002
Hogares privados	0.0014	0.0000000000000875
Otros	0.0007	0.0000000000000397

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

La composición de estas emisiones permite observar que las emisiones directas son más importantes en los sectores de textiles, electricidad, gas, agua, reciclaje y transporte y las emisiones indirectas son más importantes en los sectores de textiles, reciclaje, otra manufactura, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria y transporte (Cuadro 5). En este sentido, una estrategia de mitigación debe considerar que en los sectores con mayores emisiones directas tiene sentido instrumentar procesos de innovación tecnológica mientras que en los sectores con mayores emisiones indirectas la innovación tecnológica al interior del sector es insuficiente y es necesario incorporar estrategias multisectoriales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

**Cuadro 5. Emisiones directas e indirectas de los multiplicadores no ponderados.**

Sectores	Emisiones Directas	Emisiones indirectas	Emisiones totales
Agricultura	0.62	0.99860	1.62
Pesca	0.13	0.99864	1.12
Minas y canteras	0.93	0.99821	1.93
Alimentos y Bebidas	1.19	0.99984	2.19
Textiles y prendas de vestir	11.64	0.99873	12.64
Madera y Papel	0.72	0.99983	1.72
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	0.84	0.99954	1.84
Productos metálicos	1.03	0.99980	2.03
Electricidad y Maquinaria	1.17	0.99984	2.17
Equipo de transporte	0.98	0.99983	1.98
Otra Manufactura	1.33	0.99962	2.33



Reciclaje	2.08	0.99914	3.08
Electricidad, Gas y Agua	0.67	0.99601	1.67
Construcción	0.76	0.99991	1.76
Mantenimiento y reparación	0.61	0.99916	1.61
Comercio al por mayor	0.65	0.99991	1.65
Comercio al por menor	0.48	0.99992	1.48
Hoteles y Restaurantes	0.79	0.99989	1.79
Transporte	0.67	0.99797	1.67
Correos y Telecomunicaciones	0.47	0.99990	1.47
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	0.11	0.99997	1.11
Administración Pública	0.52	0.99991	1.52
Educación, Salud y Otros Servicios	0.32	0.99994	1.32
Hogares privados	0.64	0.99876	1.64
Otros	0.48	0.99942	1.47

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023.

Los índices de Rasmussen, en el Cuadro 6, que permite clasificar a los sectores de arrastre, estratégicos, clave e independientes, indican que el sector textil representa un sector impulsor (índice de arrastre) ya que demanda más insumos que el promedio de los demás sectores, y por tanto impulsa el crecimiento económico cuando su producción aumenta. Sin embargo, esto conlleva también a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, los sectores estratégicos (índices de dispersión), que contribuyen con la producción de otros sectores, corresponden a la intermediación financiera, construcción y comercio y, por tanto, un aumento en su demanda final puede aumentar su contribución a la emisión de gases de efecto invernadero, pero no necesariamente genera un efecto de arrastre importante.

De este modo, la estrategia de mitigación debe considerar que en los sectores con un alto potencial de arrastre se debe incidir en la estrategia de mitigación a lo largo de la cadena productiva mientras que los sectores estratégicos deben concentrar su estrategia de mitigación al interior de los sectores y en la evolución de la demanda. Destaca, además, la presencia de múltiples sectores considerados como independientes.

**Cuadro 6. Índices de Rasmussen.**

Sector	Índice de Dispersión	Índice de Arrastre
Agricultura	1.79	1.22
Pesca	0.97	0.97
Minas y canteras	3.84	1.96
Alimentos y Bebidas	0.15	0.70
Textiles y prendas de vestir	1.13	6.15
Madera y Papel	0.29	0.41
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1.74	0.74



Productos metálicos	0.33	0.56
Electricidad y Maquinaria	0.22	0.40
Equipo de transporte	0.16	0.34
Otra Manufactura	0.34	0.66
Reciclaje	0.61	2.09
Electricidad, Gas y Agua	6.49	3.32
Construcción	0.10	0.30
Mantenimiento y reparación	0.61	0.77
Comercio al por mayor	0.26	0.21
Comercio al por menor	0.07	0.21
Hoteles y Restaurantes	0.10	0.37
Transporte	4.04	1.61
Correos y Telecomunicaciones	0.14	0.16
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	0.18	0.06
Administración Pública	0.07	0.19
Educación, Salud y Otros Servicios	0.05	0.13
Hogares privados	0.84	0.96
Otros	0.48	0.49

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

#### Cuadro 7. Identificación de sectores por los índices de Rasmussen.

Sectores	Índice de dispersión	Índice de arrastre
<b>Sectores clave</b>		
Pesca	1.0	1.0
Textiles y prendas de vestir	1.1	6.2
Agricultura	1.8	1.2
Minas y canteras	3.8	2.0
Transporte	4.0	1.6
Electricidad, Gas y Agua	6.5	3.3
<b>Sectores impulsores</b>		
Reciclaje	0.6	2.1
Hogares privados	0.8	1.0
<b>Sectores estratégicos</b>		
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1.7	0.7
<b>Sectores independientes</b>		
Educación, Salud y Otros Servicios	0.1	0.1
Administración Pública	0.1	0.2
Comercio al por menor	0.1	0.2
Hoteles y Restaurantes	0.1	0.4

Construcción	0.1	0.3
Correos y Telecomunicaciones	0.1	0.2
Alimentos y Bebidas	0.2	0.7
Equipo de transporte	0.2	0.3
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	0.2	0.1
Electricidad y Maquinaria	0.2	0.4
Comercio al por mayor	0.3	0.2
Madera y Papel	0.3	0.4
Productos metálicos	0.3	0.6
Otra Manufactura	0.3	0.7
Otros	0.5	0.5
Mantenimiento y reparación	0.6	0.8

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

Nota: las industrias clave generan grandes efectos sobre el resto de ramos de la producción. Por consiguiente, la expansión de la producción de las industrias clave alentará el incremento general de la actividad económica.

Cuando el índice de arrastre de un sector es mayor que la unidad, se infiere que un aumento unitario de la demanda final de este sector consentirá un incremento mayor que el promedio de la actividad económica. Si el índice de dispersión es mayor a la unidad, el incremento unitario de la demanda final del resto de sectores propiciará un crecimiento de la demanda final del mismo sector superior al promedio de toda la economía.

### 3.5. Análisis de Descomposición Estructural.

El Análisis de Descomposición Estructural, sintetizado en el Cuadro 8, muestra que los cambios en el consumo de energía se originan, fundamentalmente, en cambios en la función de producción y, en menor medida en cambios en la demanda. En este sentido, instrumentar un intenso proceso de disminución del consumo de energía requiere mejorar los procesos de innovación tecnológica e inducir cambios en la demanda final favorables al proceso de descarbonización profunda. Ello es consistente con otros estudios que muestran que la reducción en las emisiones se asocia a una mejora en la eficiencia energética (Duarte, et al., 2021) y una mejor distribución del ingreso reflejada en los patrones de consumo (Nieto, et al., 2020).

**Cuadro 8. Cambios en el consumo de energía: Descomposición Estructural.**

Sectores	Cambios en emisiones de gases de efecto invernadero	Cambios en la estructura de la demanda	Cambios en la función de producción	Cambios en las interacciones
Agricultura	-218414.27	41.01	-258265.69	39810.41
Pesca	-294.87	0.06	-349.06	54.13
Minas y canteras	-4751.24	0.83	-5446.73	694.66
Alimentos y Bebidas	-166747.10	32.53	-194193.00	27413.37



Textiles y prendas de vestir	-120892.05	21.21	-139389.58	18476.32
Madera y Papel	-10843.31	2.25	-12776.38	1930.82
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	-2603039.93	646.61	-3069711.22	466024.67
Productos metálicos	-8506.97	1.91	-10171.46	1662.59
Electricidad y Maquinaria	-4094585.70	1353.59	-4962465.94	866526.66
Equipo de transporte	-91929.34	21.79	-110251.84	18300.71
Otra Manufactura	-741058.20	214.89	-878899.49	137626.40
Reciclaje	-511867.42	129.93	-592833.72	80836.37
Electricidad, Gas y Agua	-43906962.78	8165.29	-51341464.47	7426336.40
Construcción	-453317.58	134.17	-560075.86	106624.10
Mantenimiento y reparación	-13050.09	2.77	-15364.87	2312.00
Comercio al por mayor	-213911.02	48.40	-253574.33	39614.91
Comercio al por menor	-256228.17	51.69	-298649.12	42369.26
Hoteles y Restaurantes	-286868.16	59.83	-335834.49	48906.50
Transporte	-23596993.05	4730.87	-27719144.10	4117420.18
Correos y Telecomunicaciones	-108746.73	23.88	-128317.19	19546.58
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	-219199.27	41.23	-254977.05	35736.55
Administración Pública	-338502.98	84.36	-406388.63	67801.28
Educación, Salud y Otros Servicios	-418382.04	80.88	-485849.33	67386.42
Hogares privados	-12900.03	2.63	-15087.16	2184.50
Otros	-5782.64	1.16	-6753.06	969.26

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023



## 4. CONCLUSIONES

La evidencia presentada muestra que las emisiones de gases de efecto invernadero están estrechamente asociadas a la estructura económica. Así, se observa que existe una asociación positiva entre los sectores con mayor participación en la estructura económica (VBP o PIB) y el consumo de energía (electricidad, gas y agua, transporte, productos químicos y maquinaria) y los sectores con mayor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero (electricidad, gas y agua, transporte y agricultura). En este sentido, instrumentar un proceso de mitigación de gases de efecto invernadero requiere incidir en la actual estructura económica.

Estos escenarios muestran claramente que los escenarios inerciales donde se mantiene constante la estructura productiva y las condiciones de producción son inconsistentes con un proceso de descarbonización profunda. Estos escenarios prospectivos muestran que mantener una trayectoria inercial deriva en una paradoja del desarrollo sostenible. El crecimiento económico se asocia a un aumento del producto y el empleo, pero, también no reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. De este modo, para transitar a una economía carbono neutral entre 2050-207 es necesario instrumentar un conjunto de transformaciones a la actual estructura económica.

Instrumentar una estrategia de descarbonización profunda requiere considerar fundamentalmente a aquellos sectores con mayor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, es necesario concentrar las acciones de mitigación en aquellos sectores con los multiplicadores de emisiones más altos.

Los multiplicadores sin ponderar indican que los sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero corresponden a textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería. Estos sectores representan en conjunto el 36.6% de las emisiones totales de GHG. Destaca, además transporte y agricultura. Por su parte, los multiplicadores ponderados por la demanda final indican que los sectores con mayores emisiones corresponden a textiles, productos metálicos y reciclaje.

Estos resultados sugieren que la estrategia de mitigación debe concentrarse en textiles, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria, construcción y hotelería y transporte y agricultura por su relevancia absoluta y contener el dinamismo y reducir la intensidad de emisiones de sectores como textiles, productos metálicos y reciclaje.

La composición de estas emisiones permite observar que las emisiones directas son más importantes en los sectores de textiles, electricidad, gas, agua y reciclaje y las emisiones indirectas son más importantes en los sectores de textiles, reciclaje, otra manufactura, alimentos y bebidas, electricidad y maquinaria. En este sentido, una estrategia de mitigación debe considerar que en los sectores con mayores emisiones directas es necesario instrumentar procesos de innovación tecnológica mientras que en los sectores con mayores emisiones indirectas la innovación tecnológica al interior del sector es insuficiente y es necesario incorporar estrategias multisectoriales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. De este modo, es necesario diferenciar las estrategias de mitigación por sectores.

Los índices de Rasmussen indican que existen sectores impulsores y sectores estratégicos donde un aumento en su demanda final puede aumentar su contribución a la emisión de gases de efecto invernadero, pero no necesariamente genera un efecto de arrastre importante. De este modo, la estrategia de mitigación debe considerar que los sectores como el textil con un alto potencial de arrastre debe incidir en la estrategia de mitigación a lo largo de la cadena productiva mientras que los sectores estratégicos deben concentrar su estrategia de mitigación al interior de los sectores y en la evolución de la demanda. Destaca, además, la presencia de múltiples sectores considerados como independientes.

El análisis de descomposición estructural muestra, además, que los cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero se asocia a cambios, fundamentalmente, en la función de producción y en menor medida en la estructura de la demanda.



De este modo, el proceso de descarbonización profunda requiere entonces instrumentar profundos y amplios cambios estructurales. Sin embargo, la estrategia de mitigación debe diferenciar por sectores atendiendo a su papel dentro de la estructura productiva. Ello lleva a instrumentar una estrategia de mitigaciones eficiente y creíble.

Esta estrategia debe apuntalar análisis sobre los potenciales efectos de inversiones para mitigación (Benacloch, et al., 2020) y la transformación de actividades como el transporte (Hannon y Puelo, 1974).



## REFERENCIAS.

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. (En línea). Bellaterra, Barcelona, s.e. 21 p. (wpdea). Disponible en <https://ideas.repec.org/p/uab/wprdea/wpdea0702.html>

Akpan, US; Green, OA; Bhattacharyya, S; Isihak, S. 2015. Effect of Technology Change on CO<sub>2</sub> Emissions in Japan's Industrial Sectors in the Period 1995–2005: An Input–Output Structural Decomposition Analysis. (En línea). *Environmental and Resource Economics* 61(2):165-189. Consultado 28 may 2019. Disponible en <http://link.springer.com/10.1007/s10640-014-9787-7>

Casler, S. D.; Blair, PD. 1997. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. (En línea). *Ecological Economics* 22(1):19-27. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800996005514>

Cansino, JM; Román, R; Ordóñez, M. 2016. Main drivers of changes in CO<sub>2</sub> emissions in the Spanish economy: A structural decomposition analysis. (En línea). *Energy Policy* 89:150-159. Consultado 13 jun. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515301981>

Dietzenbacher, E; Los, B. 1998. Structural Decomposition Techniques: Sense and Sensitivity. (En línea). *Economic Systems Research* 10(4):307-324. Consultado 13 abr. 2018. Disponible en <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09535319800000023>

Lim, H-J; Yoo, S-H; Kwak, S-J. 2009. Industrial CO<sub>2</sub> emissions from energy use in Korea: A structural decomposition analysis. (En línea). *Energy Policy* 37(2):686-698. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508005879>

Chang, YF; Lin, SJ. 1998. Structural decomposition of industrial CO<sub>2</sub> emission in Taiwan: an input-output approach. (En línea). *Energy Policy* 26(1):5-12. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142159700089X>

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.

Fabris, J.E. (2016), Multiplicadores y encadenamientos de la economía argentina. Un análisis a partir de la matriz de insumo producto, *Revista de Investigación en Modelos Matemáticos Aplicados a la gestión y la economía*, año 3, pp. 3366-3325.

Hannon, B y F Puelo (1974), Transferring from urban cars to buses: the energy and employment impacts, Center for advanced computation, document 98, Baltimore, MD University of Illinois at Urbana-Champaign.

Hernández-Díaz G. 2011. Matrices Insumo-Producto y Análisis de Multiplicadores: Una aplicación para Colombia. República de Colombia Departamento Nacional de Planeación Dirección de Estudios Económicos, serie Archivos de Economía DNP.

INEGI (2013), Matriz de insumo producto, Sistemas de cuentas naciones de México: Fuentes y



metodologías, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Lenzen, M; Moran, D; Kanemoto, K; Geschke, A. 2013. Building Eora: a global multi-region input-output database at high country and sector resolution, *Economic Systems Research* 25(1):20-49.

Leontief, W. (1986), *Input-output analysis*, 2nd ed, New York, Oxford University Press.

Miller, R.E. y P.D: Blair (2009), *Input-output analysis: Foundations and extensions*, 2dn Edition, New York, Cambridge University Press.

Piaggio, M; Alcántara, V; Padilla, E. (2014). Greenhouse Gas Emissions and Economic Structure in Uruguay. *Economic Systems Research* 26(2):155-176.

Rose, A. y C.Y. Chen (1991), sources of changes in energy use in the US economy 1972-82, *Resources and energy*. 13, pp. 1-21. 1947 t 1958, 1958 tp 1963 and 1963 to 1967

Skolka, J. 1989. Input-output structural decomposition analysis for Austria. (En línea). *Journal of Policy Modeling* 11(1):45-66. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0161893889900240>

Su, B; Ang, BW. 2012. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments. (En línea). *Energy Economics* 34(1):177-188. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988311002374>

Zhang, H; Qi, Y. 2011. A Structure Decomposition Analysis of China's Production-Source CO2 Emission: 1992-2002. (En línea). *Environmental and Resource Economics* 49(1):65-77. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en <http://link.springer.com/10.1007/s10640-010-9424-z>

Zhang. Z.X. y H. Folmer (1998), economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions, *energy economics*, 20, pp. 101-120.



## APÉNDICE:

**Cuadro 1.A. Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con tasa de crecimiento promedio anual de 3% de la Demanda Final.**

	<b>Demanda Final<sup>1</sup></b>	<b>VBP<sup>1</sup></b>	<b>Energía</b>	<b>GHG</b>
Agricultura	492.23	1610.09	1008280.63	2258527.22
Pesca	25.69	144.21	2338.04	196420.08
Minas y canteras	107.94	1505.22	88374.08	2697416.82
Alimentos y Bebidas	2790.19	3572.59	294825.27	573449.37
Textiles y prendas de vestir	286.21	405.49	232210.49	518706.50
Madera y Papel	260.92	1877.84	109295.97	327558.45
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1291.36	5045.06	14282875.67	2328947.19
Productos metálicos	156.71	1824.28	142173.70	370319.67
Electricidad y Maquinaria	2718.47	4679.25	10408879.92	736358.40
Equipo de transporte	1820.32	2537.46	186080.43	424575.06
Otra Manufactura	447.70	750.94	1769141.82	289314.92
Reciclaje	250.35	277.11	776024.22	240297.36
Electricidad, Gas y Agua	1145.08	2616.12	139032964.65	10494050.59
Construcción	5485.08	6361.06	804046.36	606674.08
Mantenimiento y reparación	193.85	253.53	24018.68	213873.41
Comercio al por mayor	3159.47	6842.04	657703.60	628686.67
Comercio al por menor	5066.65	5412.42	379092.08	444981.87
Hoteles y Restaurantes	3773.51	4386.95	465120.07	500373.66
Transporte	1696.64	3777.51	73412315.76	7717911.78
Correos y Telecomunicaciones	2012.71	3912.25	297877.58	390277.22
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	15518.99	26309.28	511127.26	816036.41
Administración Pública	5508.45	5556.25	498014.80	516405.13
Educación, Salud y Otros Servicios	10531.75	11039.69	603571.49	692419.73
Hogares privados	167.37	168.66	18122.04	211693.34
Otros	188.95	373.94	15837.63	216386.94

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

<sup>1</sup> Cifras en millones



**Cuadro 2.A. Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con tasa de crecimiento promedio anual de 2% de la Demanda Final.**

	<b>Demanda Final<sup>1</sup></b>	<b>VBP<sup>1</sup></b>	<b>Energía</b>	<b>GHG</b>
Agricultura	487.45	1605.31	1002312.96	2245159.78
Pesca	25.44	143.96	2329.97	195741.91
Minas y canteras	106.90	1504.17	88251.10	2693663.33
Alimentos y Bebidas	2763.10	3545.50	290387.89	564818.44
Textiles y prendas de vestir	283.44	402.71	229049.54	511645.65
Madera y Papel	258.39	1875.31	109001.49	326675.88
Petróleo, Productos Químicos y Minerales No Metálicos	1278.82	5032.52	14212062.84	2317400.54
Productos metálicos	155.19	1822.75	141936.75	369702.48
Electricidad y Maquinaria	2692.07	4652.86	10292117.96	728098.27
Equipo de transporte	1802.64	2519.78	183506.31	418701.77
Otra Manufactura	443.35	746.59	1748779.56	285985.00
Reciclaje	247.92	274.68	762529.16	236118.59
Electricidad, Gas y Agua	1133.96	2605.00	137856316.35	10405238.51
Construcción	5431.83	6307.81	790695.58	596600.57
Mantenimiento y reparación	191.96	251.65	23664.72	210721.57
Comercio al por mayor	3128.79	6811.37	651832.65	623074.74
Comercio al por menor	5017.46	5363.23	372263.39	436966.29
Hoteles y Restaurantes	3736.87	4350.31	457415.83	492085.49
Transporte	1680.17	3761.04	72774852.88	7650894.66
Correos y Telecomunicaciones	1993.17	3892.71	294916.69	386397.88
Intermediación Financiera y Actividades Empresariales	15368.32	26158.61	505306.28	806742.97
Administración Pública	5454.97	5502.77	488519.20	506558.89
Educación, Salud y Otros Servicios	10429.50	10937.44	592493.49	679711.01
Hogares privados	165.74	167.04	17776.19	207653.29
Otros	187.11	372.11	15683.00	214274.24

Fuente: Elaboración propia con base en Eora Global Supply Chain Database, 2023

1. Cifras en millones