

# RIESGOS DE LA TRANSICIÓN CLIMÁTICA EN LA ESTRUCTURA ECONÓMICA EN MÉXICO

LUIS MIGUEL GALINDO  
FERNANDO GONZÁLEZ\*

## RESUMEN:

El objetivo de este artículo es analizar los riesgos de transición climática de la estructura económica en México con base en la matriz de insumo producto de 2018. La hipótesis del artículo es que la transición climática a una economía carbono neutral implica riesgos relevantes para la estructura económica. Por ejemplo, la desaparición de los sectores productivos con mayor intensidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero ocasiona pérdidas generales en producto, salarios, empleo, exportaciones e ingresos fiscales relevantes y conlleva a una reducción del consumo de energía y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) importantes pero insuficiente para construir una economía carbono neutral, con resultados heterogéneos por sectores. Por tanto, es necesario administrar estos riesgos en la estructura económica para instrumentar una transición climática exitosa y justa.

## ABSTRACT:

The objective of this article is to analyze the climate transition risks of the economic structure in Mexico using the input output matrix of 2018. The hypothesis is that the climate transition towards a carbon net zero economy implies significant risks for the economic structure. For example, the elimination of the productive sectors with a higher Green House Gas emissions intensity generates relevant reduction in output, wages, employment, and fiscal revenues and lead to an important reduction in energy consumption and Green House Gas Emissions but insufficient to construct a carbon neutral economy, with heterogenous results by sectors. Therefore, it is important to administrate these risks to the economic structure to instrument a successful Just Climate Transition.

---

\* FACULTAD DE ECONOMÍA, UNAM.

Agradecemos los comentarios de José Luis Samaniego y Eduardo Vega. Los errores, omisiones y comentarios son exclusiva responsabilidad de los autores.

## ***Introducción***

El Acuerdo de París de Cambio Climático tiene como meta limitar el aumento de la temperatura global entre 1.5° C y 2° C durante este siglo. Para ello se requiere que la economía global sea carbono neutral entre 2050 y 2070 (United Nations, 2015). Este proceso de descarbonización profundo de la economía implica diversas transformaciones en la estructura productiva que conllevan múltiples riesgos de transición climática asociados a la instrumentación de diversas políticas públicas (p. e., un precio al carbono), a cambios tecnológicos o de obsolescencia, a transformaciones de mercado y de reputación y legales (NGFS, 2021). En este contexto, destaca el riesgo de eliminar sectores productivos con alta intensidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a producto o la cancelación de la producción de petróleo y gas en México. Estas transformaciones en la estructura económica tienen potenciales consecuencias relevantes en la dinámica del producto, los salarios, el empleo, las exportaciones, los ingresos fiscales, el consumo de energía y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y, además, conlleva a la configuración de un conjunto de activos varados con elevados riesgos financieros (Campiglio, *et al.*, 2019).

El análisis de estos riesgos de transición climática en la estructura productiva es un componente fundamental para elaborar una estrategia de descarbonización profunda creíble, viable, eficiente y justa en México. Ello es especialmente relevante atendiendo a que México requiere actualizar su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) en 2025 y elaborar una Estrategia de Largo Plazo de descarbonización profunda al 2050 y 2070 (p. e. Bastidas y McIsaac, 2019). Asimismo, este análisis contribuye a la taxonomía de riesgos climáticos en la economía mexicana.

Existen múltiples metodologías para analizar estos riesgos de transición climática donde destacan las pruebas de estrés (*Stress tests*) para el

sistema financiero (Bolton, *et al.*, 2020) junto con el análisis de riesgos para el sistema financiero (Campiglio, 2016, Dafermos, *et al.* (2018), el análisis de los riesgos derivados de la volatilidad de variables como la tasa de crecimiento del producto (Brownlees y Souza, 2021) y, recientemente, el análisis de los riesgos desde la óptica de la estructura productiva considerando las interrelaciones entre los diversos sectores productivos con base en la matriz de insumo producto (IO) (Magacho, *et al.*, 2023, Magacho *et al.*, 2022, Godin y Hadji-Lozano, 2020).

De este modo, el objetivo de este artículo es analizar los riesgos de transición climática de la estructura económica en México con base en la matriz de insumo producto. La hipótesis del artículo es que la transición climática a una economía carbono neutral conlleva riesgos relevantes a la estructura económica.

El artículo contiene cinco secciones. La primera sección es, obviamente, la introducción, la segunda sección presenta una revisión de la literatura pertinente, la tercera sección presenta la metodología utilizada, la cuarta sección sintetiza la evidencia y, finalmente, la quinta sección concluye.

## ***2. Revisión de la literatura***

El Acuerdo de París de Cambio Climático busca estabilizar el aumento de la temperatura global entre 1.5<sup>o</sup> C y 2.<sup>o</sup> C durante este siglo, lo que requiere que la economía global sea carbono neutral entre 2050 y 2070 (United Nations, 2015). Alcanzar una economía carbono neutral entre 2050 y 2070 requiere realizar transformaciones relevantes en la estructura económica.<sup>1</sup>

---

1 Una definición de cambio estructural está en Savona y Ciarli (2019).

En efecto, la evidencia disponible muestra que en América Latina persiste una elevada asociación positiva entre la evolución del ingreso *per cápita*, el consumo de energía *per cápita* y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) *per cápita* con procesos de desacoplamiento incipientes y heterogéneos por países (Galindo, *et al.*, 2014), que la intensidad energética aumenta en paralelo con el ingreso por lo que el desacoplamiento es consecuencia más de un mayor ritmo de crecimiento económico que de una mayor eficiencia energética (Csereklyei *et al.*, 2014), que la evolución de la razón de energía a producto se corresponde con la razón de energía a capital, que persiste una transferencia de actividades con altas emisiones de GEI de los países desarrollados a los países en desarrollo (fuga de carbono -carbon leakage-) (Aichele, *et al.*, 2015) lo que se refleja en un proceso de convergencia global en intensidad de energía a producto y de la razón de energía a capital (Savona y Ciarly, 2019), que existen altas elasticidades de las emisiones con respecto a la población y menores con respecto al ingreso *per cápita* (Casey y Galor, 2017) y donde se observa una mejora de la calidad de las fuentes de energía con el aumento del ingreso (Semieniuk, 2018). Asimismo, la evidencia muestra que economías más diversificadas, más integradas y más sofisticadas (complejas) pueden reducir mejor la intensidad de emisiones a producto y las emisiones *per cápita*; ello a consecuencia de un mayor contenido tecnológico, de la disposición de diversas tecnologías y de la generación de mayor valor agregado en los productos (Romero y Gramkow, 2021, Hartmann *et al.*, 2017, Boleti *et al.*, 2021).

Estas transformaciones para transitar a una economía carbono neutral se traducen en diversos riesgos de transición climática (NGFS, 2019). Así, los sectores productivos con bajas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (industrias nacientes –sunrise industries–) tendrán un ambiente favorable para expandirse mientras que los sectores productivos con altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (industrias en ocaso –sunset industries–) tenderán a contraerse (Semieniuk, *et al.*, 2021, Ma-

gacho *et al.*, 2023). En este sentido, la transición a una economía carbono neutral requiere instrumentar una transformación de la estructura productiva (Lynch, *et al.*, 2024, IPCC, 2022a; Mercure *et al.*, 2021). Por ejemplo, los escenarios prospectivos de descarbonización profunda contemplan la cancelación de las actividades de petróleo y gas (Rezai, y van Der Ploeg, 2017). Esto es, en las próximas tres o cuatro décadas, la infraestructura global de energía basada en combustibles fósiles generará emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 30% por arriba del nivel necesario para la meta de un aumento de la temperatura de 1.5° C (Tong *et al.*, 2019). De este modo, 50% de las reservas actuales de petróleo y 50% de las reservas de gas actuales no se podrán utilizar en el contexto del Acuerdo de París de Cambio Climático (McGlade y Ekins, 2015) y 60% de las reservas de petróleo y gas metano fósil y 90% de las reservas globales no se podrán utilizar en un escenario de 50% de probabilidad de un aumento de la temperatura de 1.5° C (Welsby, *et al.*, 2021) y entre 50 y 70% de las reservas de petróleo y gas en América Latina no se podrán explotar en un escenario de aumento de la temperatura de 1.5° C (Solano-Rodríguez *et al.*, 2019, González-Mahecha *et al.*, 2019). Esto implica que para alcanzar una economía carbono neutral global se requiere que la producción de petróleo y gas se reduzca, al menos, en 3% promedio anual hasta el 2050 y más aún en carbón (Welsby, *et al.*, 2021, Foster *et al.* 2024). Ello lleva a la configuración de importantes activos varados en la producción de petróleo y gas y en otras actividades con costos financieros significativos (Binsted *et al.*, 2019). Estas modificaciones en la estructura económica derivan en serios riesgos financieros (Dafermos, *et al.*, 2018, Battiston, *et al.*, 2017).

El análisis de la exposición de los sectores y del conjunto de la estructura económica a estos riesgos de transición climática puede realizarse con base en diversas metodologías. Por ejemplo, con pruebas de estrés (*Stress tests*) financiero que buscan identificar los riesgos financieros ocasionadas por la transición climática y la constitución de im-

portantes activos varados (Battiston *et al.*, 2017, Campiglio *et al.* 2017b, Campiglio *et al.*, 2018, Rozenberg *et al.*, 2018), modelos de volatilidad que capturan los efectos de diversos *shocks* en la trayectoria de las variables económicas (Brownlees y Souza, 2021) y el análisis de los riesgos de transición climática de la estructura productiva que busca identificar las consecuencias de la contracción de sectores con altas emisiones de GEI como petróleo y gas en el conjunto de la estructura productiva utilizando la matriz de insumo producto (Desnos *et al.* 2023, Cahen-Fourot *et al.*, 2021, Semieniuk *et al.*, 2021).

Actualmente existe una literatura económica creciente que analiza estos riesgos de transición climática considerando las interdependencias entre estos sectores con base en la matriz de insumo producto. Por ejemplo, Magacho *et al.* (2023) analizan la exposición al riesgo en la transición climática a una economía baja en carbono de las actividades económicas globales y donde identifican que existe una vulnerabilidad heterogénea por países y entre sectores. Peszko *et al.* (2020) estiman que la transición climática genera efectos heterogéneos en el producto en diferentes países y donde las economías desarrolladas (*i. e.* Unión Europea) que ya redujeron su producción y uso de combustibles fósiles tienen menores costos de transición climática que las economías en desarrollo.

Asimismo, existe una amplia y creciente literatura que analiza las consecuencias de la instrumentación de diversas políticas públicas que promueven la transición climática. Por ejemplo, Moz-Christofolletti y Pereda (2021), Shukla, *et al.*, 2022 y Galindo *et al.*, 2017, Hebbink *et al.*, 2018, Dorband, *et al.*, 2019) argumentan que un precio al carbono tiene efectos contraccionistas en el Producto Interno Bruto (PIB) y potenciales efectos regresivos en la distribución del ingreso pero que con reciclaje fiscal pueden compensarse, y Saget *et al.*, (2020) identifica un efecto neto positivo en la creación de empleos asociado a la generación de nuevas actividades productivas en América Latina. De este modo, parecen existir

efectos heterogéneos por sectores en la estructura económica durante la transición climática (Lynch *et al.*, 2024).

### ***3. Análisis de riesgos en la estructura productiva y modelo de insumo producto***

El análisis de los riesgos de la transición climática en la estructura productiva se realiza con base en la matriz de Insumo Producto (IO) que permite identificar las interrelaciones entre los sectores productivos. Este análisis utiliza la metodología desarrollada por Espagne *et al.*, 2021, Cahen-Fourot *et al.* (2020), Cahen-Fourot *et al.* (2021), Magacho, *et al.*, 2023, Goudin y Haadji-lazaro, 2020, Dafermos, *et al.* (2018) donde se incorporan variables adicionales como el consumo de energía, las emisiones de GEI y los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante en México.

Así, se analizan las consecuencias de los cambios en la estructura económica debido a la reducción de los sectores productivos con alta intensidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a producto en el Valor Bruto de Producción (VBP), los salarios, el empleo, las exportaciones, los ingresos fiscales, el consumo de energía y las emisiones de GEI con base en la matriz de insumo producto de México de 2018 (Semieniuk *et al.*, 2021). Ello se basa en:

1. El modelo de Insumo Producto (IO), en forma matricial, se define como (Miller y Blair, 2009):

$$(1) \quad \mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{y}$$

Donde  $\mathbf{x}$  representa el vector del Valor de la Producción Bruto,  $\mathbf{Z}$  corresponde a la matriz de transacciones intermedias ( $z_{ij}$ ) donde el sector  $j$  demanda insumos del sector  $i$ ,  $\mathbf{y}$  es el vector de demanda final, e  $\mathbf{i}$  es

un vector columna de unos. El subíndice  $i$  representa el sector fila y  $j$  el sector columna.<sup>2</sup>

La ecuación (1) puede entonces representarse como la ecuación (2) y reordenarse como la ecuación (3) (Miller y Blair, 2009):

$$(2) \quad \mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y}$$

$$(3) \quad \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{Ly}$$

La matriz  $\mathbf{A}$  corresponde a los coeficientes técnicos definidos como la razón entre los insumos intermedios ( $z_{ij}$ ) y el Valor Bruto de Producción (VBP) o producto ( $x_j$ ) del sector ( $a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$ ) (Miller y Blair, 2009)<sup>3</sup> y donde, además,  $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  representa la matriz inversa de Leontief que incluyen a las demandas directas e indirectas de cada sector.

El modelo de precios de Gosh<sup>4</sup> se obtiene transponiendo las columnas a filas de la matriz de Insumo Producto (IO) y sumando estas columnas y el valor agregado, lo que se interpreta como un modelo de precios por presión de costos (Miller y Blair, 2009, Dietzenbacher, 1997):

$$(4) \quad \mathbf{x}' = \mathbf{i}'\mathbf{Z} + \mathbf{v}'$$

Donde  $\mathbf{v}$  representa el vector columna de gasto en valor agregado de cada sector,  $\mathbf{Z}$  representa la matriz de insumo intermedios,  $\mathbf{i}$  es un vector columna de unos, y  $\mathbf{\prime}$  se refiere al vector o matriz transpuesta.

2 Además,  $\mathbf{x}_j \mathbf{a}_{ij} = \mathbf{z}_{ij}$ .

3 La matriz de coeficientes técnicos se define en forma matricial como:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{x}}^{-1}$$

4 El modelo de Leontief indica el uso de los bienes producidos por los sectores y el modelo de Gosh indica los insumos utilizados de los sectores en la producción.

Reordenando la ecuación (4) se obtiene (Miller y Blair, 2009):

$$(5) \quad \mathbf{x}' = \mathbf{v}' (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} = \mathbf{v}' \mathbf{G}$$

Donde la matriz B representa los coeficientes directos de producto ( $b_{ij}$ ) que corresponden a la distribución del producto del sector  $i$  entre los sectores  $j$  (*allocation coefficients*). Estos coeficientes de la matriz B se obtienen de dividir cada fila por el VBP del sector asociado a cada fila:<sup>5</sup>  $\mathbf{B} = \hat{\mathbf{x}}^{-1} \mathbf{Z}$  con  $\hat{\mathbf{x}}$  que define a una matriz diagonal. De este modo,  $\mathbf{G} = (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}$  es la matriz inversa de insumos y  $g_{ij}$  representa el valor total de producción del sector  $j$  por unidad de insumo primario del sector  $i$ . Así, un cambio en el valor agregado o insumo primario se traduce en un cambio en la producción del sector  $j$  (Blair y Miller, 2009).

2. Los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante se estiman con base en los multiplicadores de la matriz de IO.

Los multiplicadores directos hacia atrás se definen como:

$$(6) \quad BL(d)_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

Los multiplicadores directos e indirectos hacia atrás se definen como:

$$(7) \quad BL(t)_j = \sum_{i=1}^n l_{ij}$$

Donde  $l_{ij}$  son los multiplicadores por sector que se obtienen como la suma de las columnas de la matriz de Leontief, lo que permite relacionar la demanda final del sector  $j$  con el producto.

5 Ello corresponde a  $\mathbf{Z} = \hat{\mathbf{x}}\mathbf{B}$ .

Los multiplicadores hacia adelante se definen como:

$$(8) \quad FL(d)_j = \sum_{i=1}^n b_{ij}$$

$$(9) \quad FL(t)_j = \sum_{i=1}^n g_{ij}$$

Donde los multiplicadores por sector se obtienen como la suma de las filas de la matriz de Leontief.

De este modo, los sectores se pueden clasificar<sup>6</sup> en (Miller y Blair, 2009):

- Sectores independientes: Multiplicadores hacia atrás y hacia adelante menores a 1.
- Sectores dependientes: Multiplicadores hacia atrás y hacia adelante mayores que 1.
- Sectores dependientes de la oferta: multiplicadores hacia atrás mayores que 1.
- Sectores dependientes de demanda: multiplicadores hacia adelante mayores a 1.

3. La intensidad de las emisiones con respecto al Valor Bruto de Producción se define como:

$$(10) \quad CO2e_i = \frac{CO2e_i}{x_i}$$

Donde  $CO2e_i$  es la intensidad de emisiones a producto,  $CO2e_i$  son las emisiones de GEI por sectores y  $x_i$  es la producción del sector  $i$ .

Las emisiones indirectas hacia atrás ( $CO2e^{ib}$ ) se obtienen multiplicando al vector de la intensidad de las emisiones ( $e$ ) por la matriz inversa de Leontief y restando las emisiones directas (Magacho *et al.*, 2023).

6 Puede utilizarse el promedio de los coeficientes como métrica.

La suma por columnas representa las emisiones indirectas hacia atrás (ecuación (21)) y la suma de las filas corresponde a las emisiones indirectas hacia adelante (ecuación (22)) por sectores (Magacho *et al.*, 2023, Choi *et al.*, 2010):

$$(11) \quad CO2e^{ib} = e(I - A)^{-1} - CO2e$$

$$(12) \quad CO2e^{if} = (I - B)^{-1}e - CO2e$$

Los sectores con mayores emisiones inidirectas hacia atrás y hacia adelante<sup>7</sup> se consideran industrias en ocaso (*sunset industries*).

4. El método de extracción hipotética (MEH) estima los efectos de extraer el sector  $j$  de la estructura económica. Así, la matriz  $A$  de coeficientes técnicos (de  $n \times n$ ) se reduce eliminando la columna y la fila del sector  $j$  de donde se obtiene la matriz  $\bar{A}_j$  (de  $n \times n$ ) y donde, además, puede reducirse la parte correspondiente del vector de demanda final (Miller y Blair, 2009).

De este modo, el Valor Bruto del Producto sectorial completo (ecuación (13)) y eliminando algunos sectores en ocaso (*sunset sectors*) durante la transición climática (ecuación (14)) se define como:

$$(13) \quad \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$

$$(14) \quad \bar{\mathbf{x}}_j = [\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}_j]^{-1}\bar{\mathbf{f}}_j$$

El indicador del Método de Extracción Hipotética (MEH) para el Valor Bruto de la Producción corresponde a:

7 La diferencia entre emisiones directas e indirectas responde a la discusión del alcance de las emisiones nivel I, II y III (Magacho *et al.*, 2023).

$$(15) \quad T_j = \left[ \frac{(i'x - i'\bar{x}_j)}{i'x} \right] i'x * \mathbf{100}$$

Donde  $T_j$  denota el porcentaje de reducción del VBP:

El MEH puede considerar los encadenamientos hacia atrás al eliminar la columna  $j$  de la matriz  $\mathbf{A}$  (ecuación (16)) y los encadenamientos hacia adelante eliminando la fila  $j$  de la matriz  $\mathbf{B}$  (ecuación (17)) (Miller y Blair, 2009):

$$(16) \quad \bar{x}_{cj} = [I - \bar{A}_{cj}]^{-1} f$$

$$(17) \quad \bar{x}'_{rj} = v'[I - \bar{B}_{rj}]^{-1}$$

Donde los subíndices  $c$  y  $r$  representan la columna y la fila del sector correspondiente.

De este modo, los indicadores de la MEH de los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante se definen como (Miller y Blair, 2009):

$$(18) \quad TB_j = \left[ \frac{(i'x - i'\bar{x}_{(cj)})}{i'x} \right] i'x * \mathbf{100}$$

$$(19) \quad TF_j = \left[ \frac{(i'x - i'\bar{x}'_{(rj)})}{i'x} \right] i'x * \mathbf{100}$$

Donde  $TB_j$  representa los encadenamientos totales hacia atrás y  $TF_j$  corresponden a los encadenamientos hacia adelante.

Los efectos de los cambios en la estructura económica derivados de la transición climática se obtienen como:

5. Los efectos de la reducción en el Valor Bruto de la Producción de los sectores con altas emisiones de CO<sub>2</sub>e se obtienen con base en la ecuación (15) (Magacho *et al.*, 2023, Miller y Blair, 2009):

6. Los cambios en los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de la extracción hipotética de sectores se obtienen de acuerdo a la ecuación (18) y la ecuación (19).

7. Los salarios directos por unidad de producto en los sectores  $i$  se definen como (Magacho *et al.*, 2023):

$$(20) \quad \mathbf{w}_i = \frac{\text{wages}_i}{x_i}$$

Donde  $w_i$  son los coeficientes de los salarios directos por unidad de producto y  $\text{wages}_i$  son los salarios. Así, la participación directa e indirecta de los salarios en los sectores en ocaso se define como (Magacho *et al.* 2023):

$$(21) \quad \mathbf{w}_i^S = 1 - \frac{\sum_i w_i x_i^{ns}}{\sum_i w_i x_i}$$

Donde  $x_i^{ns}$  representa el Valor Bruto de Producción de los sectores que no están en ocaso.

8. El empleo directo por unidad de producto en los sectores  $i$  se estima como (Magacho, *et al.*, 2023, Miller y Blair, 2009, p. 25):

$$(22) \quad \mathbf{n}_i = \frac{\text{Empl}_i}{x_i}$$

Donde  $n_i$  son los coeficientes de la participación del empleo por unidad de producto en los sectores  $i$ . De este modo, la participación directa e

indirecta del empleo en los sectores en ocaso corresponde a (Magacho *et al.* 2023):

$$(23) \quad N_i^S = 1 - \frac{\sum_i n_i x_i^{ns}}{\sum_i n_i x_i}$$

Donde  $x_j^{ns}$  contiene a los sectores que no corresponden a los sectores en ocaso y  $N_i^S$  es la participación del empleo en los sectores en ocaso.

9. El consumo directo de energía por unidad de producto en los sectores  $i$  se define como (Magacho, *et al.*, 2023)<sup>8</sup>:

$$(24) \quad \epsilon n_i = \frac{EN_i}{x_i} = \epsilon_i \hat{x}^{-1}$$

$$(25) \quad \xi_i^S = 1 - \frac{\sum_i \epsilon_i x_i^{ns}}{\sum_i \epsilon_i x_i}$$

Donde  $\epsilon n_i$  representa a los coeficientes del consumo directo de energía por unidad de producto y  $\xi_i^S$  es el consumo de energía de los sectores en ocaso.

10. La recaudación fiscal por unidad de producto por sector se define como (Magacho, *et al.* 2023):

$$(26) \quad t_i^p = \frac{Tax_i}{x_i}$$

Donde  $t_i^p$  representa los coeficientes de los impuestos por unidad de producto y  $Tax_i$  son los ingresos fiscales derivados de la producción del sector  $i$ . De este modo, la participación de los ingresos fiscales directos e indirectos de los sectores en ocaso se define como (Magacho, *et al.*, 2023):

$$(27) \quad \pi_i^S = 1 - \frac{\sum_i \tau_i x_i^{ns}}{\sum_i \tau_i x_i}$$

8 Donde  $\hat{x}$  es una matriz diagonal.

Donde  $\pi_i^S$  representa la participación de los ingresos fiscales directos e indirectos de los sectores en ocaso en referencia al total de ingresos fiscales derivados de la producción.

11. Las exportaciones por unidad de producto por sector se definen como (Magacho, *et al.* 2023):

$$(28) \quad \pi_i^S = 1 - \frac{\sum_i \tau_i x_i^{ns}}{\sum_i \tau_i x_i}$$

Donde  $Exp_i$  representa los coeficientes de las exportaciones por unidad de producto y  $EX_i$  son las exportaciones del sector  $i$ . De este modo, la participación de las exportaciones directas e indirectas de los sectores en ocaso se define como (Magacho, *et al.*, 2023).

$$(29) \quad EX_i^S = 1 - \frac{\sum_i EX_i x_i^{ns}}{\sum_i EX_i x_i}$$

Donde  $EX_i^S$  representa la participación de las exportaciones de los sectores en ocaso en el total de exportaciones.

### ***Evidencia empírica***

La base de datos utilizada corresponde a la Matriz de Insumo Producto con 77 sectores elaborada por INEGI (2018). La información del consumo de energía y de los gases de efecto invernadero por sectores de la matriz de insumo producto provienen de las tablas de IO elaboradas para cada país por EORA para 2017 (EORA, 2024).

La intensidad de emisiones totales de GEI a producto es heterogénea entre sectores (cuadro 1). Los sectores en ocaso (*sunset sectors*), definidos como aquellos con alta intensidad total (indirecta hacia adelante y hacia atrás) de emisiones a producto, se presentan en el cuadro 2. De este modo, se observa que los riesgos de transición climática para la estruc-

tura productiva se concentran en la industria alimentaria y productos textiles (excepto prendas de vestir), actividades agropecuarias, minería y productos minerales y extracción de petróleo y gas. Ello presenta riesgos relevantes para la seguridad alimentaria y para la matriz energética actual para México y sugiere la importancia de instrumentar acciones que permitan amortiguar estos impactos.

**Cuadro 1.** Intensidad de emisiones totales por sectores

Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.
Transporte por agua	5.52	Prendas de vestir	0.19	Industria de las bebidas y del tabaco	0.08	Servicios de reparación y mantenimiento	0.05
Electricidad, agua y gas	4.06	Productos textiles, excepto prendas de vestir	0.18	Industria del papel	0.08	Compañías de seguros y administración de fondos para el retiro	0.04
Autotransporte de carga	2.73	Productos de cuero y piel	0.18	Alquiler de marcas registradas, patentes y franquicias	0.07	Trabajos especializados para la construcción	0.04
Otros servicios de información	1.30	Cría y explotación de animales	0.16	Industria filmica y e industria del sonido	0.07	Corporativos	0.04
Minerales no metálicos	1.19	Equipo de generación de energía eléctrica	0.15	Servicios de alquiler de bienes muebles	0.07	Hogares con empleados domésticos	0.04
Agricultura	1.15	Edición	0.15	Asociaciones y organizaciones	0.07	Telecomunicaciones	0.03
Derivados del petróleo y del carbón	1.04	Insumos textiles	0.15	Servicios relacionados con la minería	0.07	Profesionales, científicos y técnicos	0.03

Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.
Manejo de residuos y servicios de remediación	0.93	Transporte por ductos	0.14	Industria alimentaria	0.07	Servicios personales	0.03
Transporte turístico	0.85	Aprovechamiento forestal	0.14	Radio y televisión	0.07	Servicios relacionados con el transporte	0.03
Residencias de asistencia social y para el cuidado de la salud	0.82	Actividades de inversión financiera	0.14	Servicios de almacenamiento	0.06	Servicios médicos	0.02
Servicios postales	0.82	Industria de la madera	0.13	Servicios artísticos, culturales y deportivos	0.06	Servicios de alojamiento temporal	0.02
Transporte aéreo	0.59	Muebles, colchones y persianas	0.12	Productos metálicos	0.06	Minería de minerales metálicos y no metálicos	0.02
Transporte por ferrocarril	0.56	Otros servicios de asistencia social	0.12	Edificación	0.06	Hospitales	0.02
Servicios actividades agropecuarias y forestales	0.45	Impresión e industrias conexas	0.11	Industria del plástico y del hule	0.06	Preparación de alimentos y bebidas	0.02
Procesamiento electrónico de información y hospedaje	0.31	Servicios de mensajería	0.10	maquinaria y equipo	0.06	Actividades gubernamentales y de impartición de justicia	0.01
Museos, sitios históricos, zoológicos y similares	0.30	Obras de ingeniería civil	0.09	Computación y accesorios electrónicos	0.05	Instituciones de intermediación crediticia	0.01
Extracción de petróleo y gas	0.25	Banca central	0.09	Otras industrias manufactureras	0.05	Servicios de apoyo a los negocios	0.01

Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.	Sector	E.
Pesca, caza y captura	0.20	Industrias metálicas básicas	0.09	Servicios de entretenimiento	0.05	Servicios educativos	0.01
Industria química	0.19	Transporte terrestre de pasajeros	0.08	Equipo de transporte	0.05	Comercio	0.01

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Insumo Producto (INEGI, 2018) y las emisiones provienen de EORA-26. Nota: las emisiones corresponden a Kg de CO<sub>2</sub> por USD dólar.

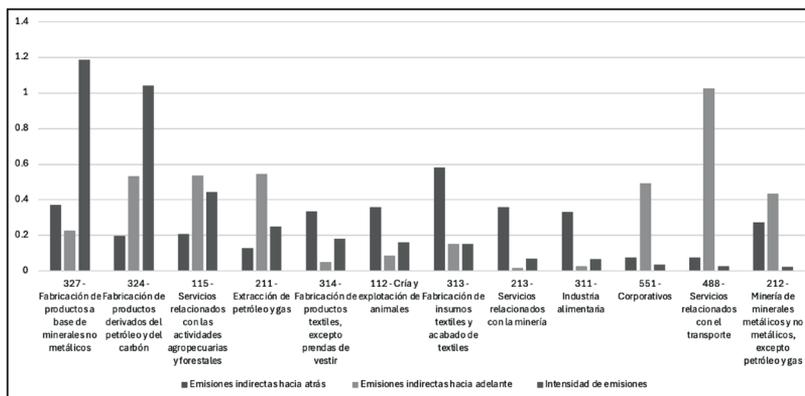
### Cuadro 2. Principales sectores con alta probabilidad de ocaso

Sector	Emisiones indirectas hacia atrás	Emisiones indirectas hacia adelante	Totales
Insumos textiles y acabado de textiles	0.582	0.150	0.733
Productos a base de minerales no metálicos	0.372	0.229	0.601
Cría y explotación de animales	0.359	0.087	0.446
Servicios relacionados con la minería	0.358	0.017	0.375
Productos textiles, excepto prendas de vestir	0.336	0.050	0.386
Industria alimentaria	0.332	0.029	0.361
Servicios relacionados con el transporte	0.077	1.025	1.102
Extracción de petróleo y gas	0.130	0.548	0.677
Servicios agropecuarias y forestales	0.209	0.536	0.745
Productos derivados del petróleo y del carbón	0.198	0.532	0.730
Corporativos	0.077	0.494	0.571
Minería de minerales metálicos y no metálicos	0.274	0.433	0.708

Fuente: elaboración propia con base en la matriz de Insumo Producto (INEGI, 2018) y las emisiones provienen de EORA-26. Nota: las emisiones corresponden a Kg de CO<sub>2</sub> por USD dólar. Para la selección de los sectores de interés, para propósitos ilustrativos, se consideraron, por un lado, las seis actividades con mayores emisiones indirectas hacia atrás y las seis primeras actividades con mayores emisiones indirectas hacia adelante. Estos sectores no necesariamente presentan los niveles más altos de intensidad emisiones.

En este contexto, se observa que las emisiones indirectas hacia adelante y hacia atrás son relevantes pero su estructura es heterogénea por sectores. Así, los sectores con mayores emisiones indirectas hacia adelante corresponden, en forma agregada, a los sectores de transporte, agropecuario, petróleo y gas y minerales (Gráfico 1). Los sectores con mayores intensidades de emisiones, dentro de las actividades seleccionadas, corresponden a minerales no metálicos, derivados del petróleo y carbón, así como los servicios relacionados con las actividades agropecuarias (Gráfico 1), mientras que los sectores con mayores emisiones indirectas hacia adelante corresponden a los servicios relacionados con el transporte, extracción de petróleo y gas, servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales, así como la fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón. Esta distinción resulta importante para la construcción de una estrategia de mitigación, ya que la reducción de las emisiones de GEI se asocia a la reducción directa del producto en los sectores, mientras que la reducción de las emisiones indirectas hacia atrás y hacia adelante involucra inducir reducciones en otros sectores. En este sentido, la reducción de emisiones de los sectores en ocaso involucra reducción de emisiones en estos sectores y en el conjunto de la cadena productiva. Ello indica que la construcción de una economía carbono neutral requiere transformaciones en el conjunto de la estructura productiva en México, como en el conjunto de las economías modernas.

**Gráfico 1.** Intensidad de emisiones directas, indirectas totales hacia atrás y adelante por sectores (Kg de CO<sub>2</sub> por USD dólar)



Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Insumo Producto (INEGI, 2018) y las emisiones de EORA-26. Las emisiones directas fueron realizadas con base en la ecuación 10, mientras que las emisiones hacia atrás y hacia adelante fueron elaboradas a partir de Magacho (2023), las cuales se basan en el cálculo de encadenamientos sectoriales y por tanto no corresponden a las emisiones del cuadro 1.

Los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante totales son heterogéneos en los sectores en ocaso (cuadro 3). Los sectores en ocaso con mayores encadenamientos totales corresponden a la industria alimentaria, la cría y explotación de animales, los productos textiles, excepto prendas de vestir, así como los insumos textiles y acabado de textiles y productos a base de minerales no metálicos. En este sentido, la contracción de estas actividades presenta riesgos en cascada relevantes en el conjunto de la estructura económica.

**Cuadro 3.** Encadenamientos directos, indirectos hacia atrás y hacia adelante por sectores en ocaso y resto de los sectores

Sectores	B(d) directos	B(t) totales	F(d) directos	F(t) totales	b(d)	b(t)	f(d)	f(t)
Cría y explotación de animales	0.4869	1.7264	0.7416	1.9739	1.5540	1.2012	1.9610	1.2826
Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales	0.3263	1.4400	0.9185	2.4092	1.0414	1.0020	2.4286	1.5655
Extracción de petróleo y gas	0.2124	1.3104	0.4427	1.7686	0.6780	0.9118	1.1706	1.1492
Minerales metálicos y no metálicos	0.2741	1.3882	0.7665	2.3245	0.8748	0.9659	2.0269	1.5104
Servicios relacionados con la minería	0.4309	1.6053	0.0228	1.0411	1.3751	1.1170	0.0603	0.6764
Industria alimentaria	0.4955	1.7477	0.1998	1.2864	1.5815	1.2161	0.5283	0.8359
Insumos textiles y acabado de textiles	0.4785	1.6665	0.5849	1.8390	1.5270	1.1596	1.5467	1.1949
Productos textiles, excepto prendas de vestir	0.4687	1.6987	0.2942	1.4351	1.4959	1.1820	0.7779	0.9325
Productos derivados del petróleo y del carbón	0.4108	1.5502	0.4981	1.7233	1.3112	1.0787	1.3171	1.1197
Productos a base de minerales no metálicos	0.4646	1.6596	0.7906	1.9918	1.4828	1.1548	2.0904	1.2942

Sectores	B(d) directos	B(t) totales	F(d) directos	F(t) totales	b(d)	b(t)	f(d)	f(t)
Servicios relacionados con el transporte	0.2147	1.2855	0.7094	1.8976	0.6854	0.8945	1.8758	1.2330
Corporativos	0.3645	1.5145	0.9991	2.6324	1.1633	1.0538	2.6417	1.7105

Fuente: elaboración propia con base en la matriz de insumo producto (INEGI, 2018). Notas: B(d) encadenamientos directos hacia atrás, B(t) encadenamientos totales hacia atrás, F(d) encadenamientos directos hacia adelante, F(t) encadenamientos totales hacia adelante,  $\bar{b}$  y  $\bar{f}$  se refieren a los encadenamientos normalizados.

Los multiplicadores hacia adelante y hacia atrás muestran que los sectores en ocaso son sectores dependientes del conjunto de la estructura económica<sup>9</sup> (cuadro 4). Esto es, los sectores en ocaso tienen fuertes interrelaciones con el resto de la estructura económica. En este sentido, la desaparición de estos sectores puede tener consecuencias relevantes en la dinámica de la estructura económica.

9 Están por arriba de la media de los multiplicadores sectoriales.

**Cuadro 4.** Clasificación de sectores en caso de acuerdo a sus multiplicadores (promedio por sector)

		Multiplicadores normalizados totales hacia adelante	
		Bajos ( $\leq 1$ )	Altos ( $\geq 1$ ):
Multiplicadores normalizados totales hacia atrás	Bajo ( $\leq 1$ )	Independientes: No se encontró	Dependientes de demanda: Extracción de petróleo y gas Minerales metálicos y no metálicos Servicios relacionados con el transporte
	Altos ( $\geq 1$ )	Dependientes de oferta:  Servicios relacionados con la minería Industria alimentaria Productos textiles excepto prendas de vestir	Dependientes: Cría y explotación de animales Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales Extracción de petróleo y gas Minerales metálicos y no metálicos Servicios relacionados con la minería Industria alimentaria Insumos textiles y acabado de textiles Productos textiles, excepto prendas de vestir Productos derivados del petróleo y del carbón Productos a base de minerales no metálicos Servicios relacionados con el transporte Corporativos

Fuente: elaboración propia.

La extracción hipotética de los sectores considera dos escenarios prospectivos (cuadro 5):

- Escenario I: Extracción de la producción de petróleo y gas.
- Escenario II: Extracción del conjunto de los sectores (incluyendo petróleo y gas) en ocaso definidos en el Cuadro 1.

El escenario de eliminación de la producción de petróleo y gas lleva a una reducción del Valor Bruto de la Producción (VBP) de 2.75%, de los salarios de 0.99%, del empleo de 0.66%, del consumo de energía de 9.61%, de las emisiones de 3%, de los ingresos fiscales de 2.28% y de las exportaciones de 5.95% (cuadro 4). Esta reducción en el VBP, salarios, empleo, ingresos fiscales muestra la relevancia del sector de producción de petróleo y gas en la dinámica de la estructura económica y, por tanto, los riesgos que conlleva su desaparición. No obstante, los efectos sectoriales son heterogéneos. Por ejemplo, se observa una importante contracción del VBP, salarios y del empleo, de las exportaciones y de los ingresos fiscales en los sectores de transporte por agua, servicios de reparación y mantenimiento, corporativos, actividades bursátiles, cambiarias y de inversión financiera, servicios de alquiler de bienes muebles, industria química, industrias metálicas básicas, y transporte aéreo. Estos sectores presentan riesgos de transición relevantes consecuencia de su posicionamiento en la cadena productiva. Asimismo, se observa una reducción importante en el consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero pero que es aún insuficiente para alcanzar una economía carbono neutral. En este sentido, la eliminación del sector de petróleo y gas, que es consistente con el Acuerdo de París de cambio climático, tiene efectos económicos importantes, pero es insuficiente para transitar a una economía carbono neutral, ello, no obstante, la reducción de emisiones de GEI. En este sentido, es necesario elaborar una estrategia de desarrollo consistente con la descarbonización profunda del conjunto de la econo-

mía. Ello incluye estrategias de mitigación en el conjunto de los sectores económicos.

En el escenario de eliminación del conjunto de los 12 sectores en oca-so se observa una reducción del VBP de 18.90%, de los salarios de 9.01%, del empleo de 14.70%, del consumo de energía de 32.50%, de las emisiones de 27.30%, de los ingresos fiscales de 14.10% y de las exportaciones de 14.02% (cuadro 5). Esta reducción refleja la relevancia de los multiplicadores de los sectores en oca-so y muestra que la extracción del conjunto de los sectores en oca-so tendrá consecuencias relevantes en la dinámica de la estructura económica. Destaca la contracción del VBP y del empleo en los sectores de actividades de inversión financiera, agricultura, industria de la madera, transporte por agua, pesca, caza y captura, servicios de reparación y mantenimiento, aprovechamiento forestal, así como el manejo de residuos. Estos resultados indican que existen riesgos relevantes de transición climática en:

**Riesgos económicos:** la reducción del VBP y de las exportaciones representan riesgos para la dinámica de la estructura económica y de des-equilibrio externo en México. En este sentido, es necesario fomentar la expansión de nuevos sectores económicos que compensen los efectos contraccionistas de la transición climática y contribuyan a construir una estructura económica más integrada, diversificada, sofisticada y sostenible y que permitan evitar desequilibrios en el sector externo.

**Riesgos sociales:** la contracción de los salarios y empleos representa un serio riesgo social que no es consistente con una transición climática justa. De este modo, es indispensable compensar esta pérdida de empleos y salarios durante la transición climática (Rosemberg, 2010 y Saget *et al.*, 2020).

**Riesgos fiscales:** la eliminación de los sectores en oca-so con sus efectos contraccionistas en el conjunto de la estructura economía deviene en una reducción de los ingresos fiscales lo que puede contribuir a un desequilibrio fiscal. Ello representa un alto riesgo atendiendo a la nece-

sidad, durante la transición climática, de mayor inversión pública para construir nueva infraestructura económica y social.

**Riesgos energéticos y climáticos:** la reducción del consumo de energía contiene un riesgo de rebote del consumo de energía y donde la reducción de las emisiones como consecuencia de la contracción de los sectores en ocaso en la transición climática es importante pero insuficiente para transitar a una economía carbono neutral entre 2050 y 2070. En este sentido, es necesario instrumentar transformaciones al conjunto de la estructura económica para una transición exitosa a una economía carbono neutral con una nueva matriz energética. De este modo, la transición climática a una economía carbono neutral requiere una planeación de largo plazo de una nueva estructura productiva.

**Cuadro 5.** Consecuencias de la extracción de petróleo y gas y del conjunto de los sectores en ocaso. Pérdida en millones de dólares, excepto energía, emisiones y empleo

	VBP	Empleo	Consumo energía (TJ)	Emisiones (Mdt)	Ingresos fiscales	Exportaciones
Escenario I						
Transporte por agua	302.91 (18.13%)	1,386.24 (18.13%)	1,812.33 (18.13%)	1.67 (18.13%)	2.74 (18.13%)	78.34 (18.13%)
Reparación y mantenimiento	1,338.07 (12.42%)	144,849.33 (12.42%)	552.16 (12.42%)	0.06 (12.42%)	3.22 (12.42%)	43.99 (12.42%)
Corporativos	1,129.20 (10.16%)	4,235.04 (10.16%)	345.38 (10.16%)	0.04 (10.16%)	7.96 (10.16%)	0.004 (10.16%)
Inversión financiera	111.41 (5.71%)	763.49 (5.71%)	62.59 (5.71%)	0.02 (5.71%)	0.87 (5.71%)	-
Alquiler de bienes muebles	158.83 (4.53%)	4,912.08 (4.53%)	41.45 (4.53%)	0.01 (4.53%)	0.38 (4.53%)	0.22 (4.53%)
Industria química	2,154.48 (3.71%)	7,992.97 (3.71%)	2,687.75 (3.71%)	0.42 (3.71%)	4.97 (3.71%)	397.82 (3.71%)
Total	59,937.27 (2.75%)	1,463,061.26 (0.66%)	601,316.36 (9.61%)	17.33 (3%)	155.01 (2.28%)	38,668.81 (5.95%)

Escenario II						
Actividades bursátiles y de inversión	1,095.24 (56%)	7,505.60 (56%)	615.30 (56%)	0.15 (56%)	8.58 (56%)	-
Agricultura	12,993.40 (37%)	2,346,283.10 (37%)	12,799.90 (37%)	14.93 (37%)	0.28 (37%)	3,863.62 (37%)
Industria de la madera	1,106.69 (24%)	46,933.80 (24%)	348.90 (24%)	0.15 (24%)	2.66 (24%)	103.93 (24%)
Transporte por agua	361.70 (22%)	1,655.30 (22%)	2,164.10 (22%)	2.00 (22%)	3.27 (22%)	93.54 (22%)
Pesca, caza y captura	254.08 (21%)	38,214.20 (21%)	66.30 (21%)	0.05 (21%)	0.01 (21%)	52.16 (21%)
Reparación y mantenimiento	1,986.55 (18%)	215,048.70 (18%)	819.80 (18%)	0.09 (18%)	4.78 (18%)	65.31 (18%)
Total	412,146.47 (18.90%)	8,742,959.85 (14.70%)	2,031,233.67 (32.50%)	157.93 (27.31%)	960.20 (14.13%)	65,129.50 (14.02%)

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Insumo Producto (INEGI, 2018) y las emisiones de EORA-26.

**Riesgos en la estructura económica:** la extracción hipotética de los sectores en ocaso genera, además, modificaciones relevantes en las interrelaciones de la estructura económica (cuadro 6) Por ejemplo, los mayores encadenamientos totales hacia atrás (directos e indirectos) en la estructura actual (sin extracción hipotética de los sectores en ocaso) corresponden a sectores como construcción de obras de ingeniería civil, industria alimentaria cría y explotación de animales, fabricación de productos textiles sin prendas de vestir, compañías de seguros y fianzas, pesca, caza y captura y otros servicios de asistencia social. Sin embargo, los encadenamientos totales hacia atrás más relevantes en el modelo de extracción hipotética se modifican y corresponden a los sectores como actividades bursátiles y de inversión financiera, agricultura, industria de la madera, transporte por agua, pesca, caza y captura, servicios de reparación y mantenimiento, así como el aprovechamiento forestal. De este

modo, la dinámica de la estructura económica se modificaría en el contexto de la transición climática.

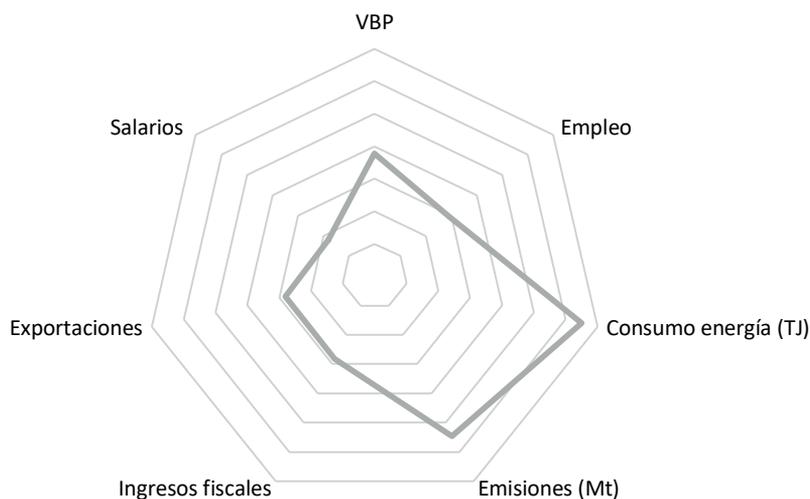
**Cuadro 6.** Orden de los sectores y extracción hipotética

Encadenamientos totales hacia atrás		Encadenamientos totales hacia atrás MEH	
Construcción de obras de ingeniería civil	1.81	Actividades bursátiles y de inversión financiera	1.28
Industria alimentaria	1.75	Agricultura	0.58
Cría y explotación de animales	1.73	Industria de la madera	0.31
Fabricación de productos textiles, sin prendas de vestir	1.70	Transporte por agua	0.28
Compañías de seguros y fianzas	1.69	Pesca, caza y captura	0.27
Pesca, caza y captura	1.69	Servicios de reparación y mantenimiento	0.23
Otros servicios de asistencia social	1.67	Aprovechamiento forestal	0.22

Fuente: elaboración propia con base en la matriz de Insumo producto (INEGI, 2018).

La exposición de la estructura económica a los riesgos económicos (producto y exportaciones), sociales (salarios y empleo), de política pública (ingresos fiscales) y ambientales y de cambio climático (consumo de energía y emisiones) se sintetiza en el Gráfico 4. Estos resultados muestran que la economía mexicana tiene riesgos estructurales significativos durante la transición climática. Sin una administración apropiada de estos riesgos una transición justa no es viable, creíble y eficiente.

**Gráfico 4.** Exposición de riesgos de transición en extracción hipotética



Fuente: elaboración propia con base en la matriz de Insumo Producto (INEGI, 2018) y las emisiones de EORA-26. Nota: Los puntos más alejados representan las mayores disminuciones de rubro en el escenario de extracción hipotética de los sectores en ocaso.

**Conclusiones**

El Acuerdo de París de cambio climático busca estabilizar el aumento de la temperatura global entre 1.5° C y 2.° C durante este siglo, lo que requiere construir una economía global carbono neutral entre 2050 y 2070. Ello implica diversos riesgos de transición climática en la estructura económica (NGFS, 2021). Por ejemplo, la transición climática puede conllevar a la eliminación de los sectores con alta intensidad de emisiones de carbono a producto, como la producción de petróleo y gas.

La cancelación de estos sectores en ocaso, con alta intensidad de emisiones de GEI a producto, conlleva a una reducción significativa del VBP, de los salarios, del empleo, de los ingresos fiscales y también del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero en el

conjunto de la economía. Sin embargo, la cancelación de la producción de petróleo y gas, así como de los sectores en ocaso es insuficiente para transitar a una economía carbono neutral, y es necesario instrumentar transformaciones fundamentales a la actual estructura económica. La transición climática implica entonces riesgos no sólo de aquellos sectores más intensivos en emisiones y del sector de petróleo y gas, sino que también es vulnerable a los riesgos de transición climática el conjunto de los sectores económicos como consecuencia de las múltiples interrelaciones y efectos en cascada en la estructura productiva.

En este sentido, la transición climática en México contiene una elevada exposición de riesgos económicos, sociales, fiscales, de energía y clima y de estructura económica relevantes. Iniciar la transición climática, sin considerar sus riesgos, puede llevar a constituir condiciones económicas, sociales y fiscales que imposibiliten la transición. De este modo, es indispensable administrar apropiadamente estos riesgos de transición para instrumentar una transición climática justa.

Así, es indispensable para instrumentar una transición climática justa en México, reducir la intensidad de emisiones a producto en los sectores productivos (mitigación) y compensar los efectos sobre la estructura económica con una visión de largo plazo que contribuya a construir una estructura más integrada, diversificada, sofisticada y sostenible. Por ejemplo, ello debe incluir al sector servicios atendiendo a su actual importancia en la estructura económica. El inicio apropiado de este proceso configura efectos positivos de retroalimentación entre la conformación de una economía verde más tecnificada, diversificada y sofisticada y la reducción de las emisiones (Mealy y Teytelboym, 2020). Sin estas transformaciones la transición climática justa es poco creíble y no es eficiente.

Este análisis contribuye, además, a la configuración de una taxonomía de riesgos climáticos por sectores en la economía mexicana.

## Referencias

- Aichele, R., & Felbermayr, G. (2015). Kyoto and carbon leakage: An empirical analysis of the carbon content of bilateral trade. *Review of Economics and Statistics*, 97(1), 104–115. [https://doi.org/10.1162/REST\\_a\\_00438](https://doi.org/10.1162/REST_a_00438)
- Bastidas, D., & McIsaac, F. (2019). Reaching Brazil's nationally determined contributions: An assessment of the key transitions in final demand and employment. *Energy Policy*, 135, 110983. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110983>
- Battiston, S., Mandel, A., Monasterolo, I., Schütze, F., & Visentin, G. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 7(4), 283. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100870>
- Binsted, M., Iyer, G. C., Edmonds, J. (Jae), Vogt-Schilb, A., Arguello, R., Cadena, A., Delgado, R., Feijoo, F., Lucena, A. F. P., McJeon, H. C., Miralles-Wilhelm, F., & Sharma, A. (2019). Stranded asset implications of the Paris Agreement in Latin America and the Caribbean. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab506d>
- Boleti, E., Garas, A., Kyriakou, A., & Lapatinas, A. (2021). Economic complexity and environmental performance: Evidence from a world sample. *Environmental Modeling & Assessment*, 26, 251–270. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0>
- Bolton, P., Despres, M., Pereira da Silva, L. A., Samama, F., & Svartzman, R. (2020). *The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change*. Banque de France.
- Brownlees, C., & Souza, A. (2021). Back testing global growth-at-risk. *Journal of Monetary Economics*, 118, 312–330. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2020.11.003>Get rights and content
- Cahen-Fourot, L., Campiglio, E., Dawkins, E., Godin, A., & Kemp-Benedict, E. (2019). Capital stranding cascades: The impact of decarbonization on productive asset utilization. *Ecological Economic*

- Papers*, WU Vienna University of Economics and Business. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105581>
- Cahen-Fourot, L., Campiglio, E., Dawkins, E., Godin, A., & Kemp-Benedict, E. (2020). Looking for the inverted pyramid: An application using input-output networks. *Ecological Economics*, 169, 106554. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106554>
- Cahen-Fourot, L., Campiglio, E., Godin, A., Kemp-Benedict, E., & Trsek, S. (2021). Capital stranding cascades: The impact of decarbonization on productive asset utilization. *Energy Economics*, 103, 105581. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105581>
- Campiglio, E., Dafermos, Y., Monnin, P., Ryan-Collins, J., Schotten, G., & Tanaka, M. (2018). Climate change challenges for central banks and financial regulators. *Nature Climate Change*, 8(6), 462–468. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0175-0>
- Campiglio, E., Monnin, P., & von Jagow, A. (2019). Climate risks in financial assets. *Council on Economic Policies (CEP)*. <https://doi.org/10.1111/joes.12525>
- Casey, G., & Galor, O. (2017). Is faster economic growth compatible with reductions in carbon emissions? The role of diminished population growth. *Environmental Research Letters*, 12(1), 014003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/12/1/014003>
- Choi, J.-K., Bakshi, B. R., & Haab, T. (2010). Effects of a carbon price in the U.S. on economic sectors, resource use, and emissions: An input-output approach. *Energy Policy*, 38(7), 3527–3536. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.029>
- Csereklyei, Z., del Mar Rubio Varas, M., & Stern, D. I. (2014). Energy and economic growth: The stylized facts. *Technical Report*.
- Dafermos, Y., Nikolaidi, M., & Galanis, G. (2018). Climate change, financial stability and monetary policy. *Ecological Economics*, 152, 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.011>
- Desnos, B., Le Guenedal, T., Morais, P., & Roncalli, T. (2023). From climate stress testing to climate value-at-risk: A stochastic approach. *SSRN*, 4497124, 182 pages.
- Dietzenbacher, E. (1997). In vindication of the Ghosh model: A reinterpretation as a price model. *Journal of Regional Science*, 37, 629–651. <https://doi.org/10.1111/0022-4146.00073>

- Dorband, I. I., Jakob, M., Kalkuhl, M., & Steckel, J. C. (2019). Poverty and distributional effects of carbon pricing in low-and middle-income countries: A global comparative analysis. *World Development*, *115*, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.11.015>
- Espagne, E., Godin, A., Magacho, G., Mantes, A., and Yilmaz, D. (2021). Developing countries' macroeconomic exposure to the low carbon transition. *AFD Research Papers* (220), pp. 1-42.
- MRIO (2024). Individual country IO tables [Conjunto de datos] Eora National IO Tables. <https://worldmrio.com/countrywise/>
- Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hall, B., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N. P., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Trewin, B., Allen, M., Andrew, R., Betts, R. A., Borger, A., Boyer, T., Broersma, J. A., Buontempo, C., Burgess, S., Cagnazzo, C., Cheng, L., Friedlingstein, P., Gettelman, A., Gütschow, J., Ishii, M., Jenkins, S., Lan, X., Morice, C., Mühle, J., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R. E., Krummel, P. B., Minx, J. C., Myhre, G., Naik, V., Peters, G. P., Pirani, A., Pongratz, J., Schleussner, C.-F., Seneviratne, S. I., Szopa, S., Thorne, P., Kovilakam, M. V. M., Majamäki, E., Jalkanen, J.-P., van Marle, M., Hoesly, R. M., Rohde, R., Schumacher, D., van der Werf, G., Vose, R., Zickfeld, K., Zhang, X., Masson-Delmotte, V., & Zhai, P. (2024). Indicators of global climate change 2023: Annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, *16*, 2625–2658. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2625-2024>
- Galindo, L. M., Beltrán, A., Ferrer-Carbonell, J., & Alatorre, J. E. (2017). Efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre el producto interno bruto en los países de América Latina: Estimaciones preliminares e hipotéticas a partir de un metaanálisis y una función de transferencia de beneficios. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Ferrer, J., & Reyes, O. (2014). Paradoxes and risks of economic growth in Latin America and the Caribbean. *Environment and Development Series, No. 156* (LC/L.3868). ECLAC.

- Godin, A., & Hadji-Lazaro, P. (2021). Demand-induced transition risks: A systemic approach applied to South Africa. *Agence Française de Développement (AFD), No. 199*.
- Gonzalez-Mahecha, E., Lecuyer, O., Hallack, M., Bazilian, M., & Vogt-Schilb, A. (2019). Committed emissions and the risk of stranded assets from power plants in Latin America and the Caribbean. *Environmental Research Letters, 14*(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5476>
- Hartmann, D., Guevara, M., Jara-Figueiroa, C., Aristara, M., & Hidalgo, C. A. (2017). Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development, 93*, 75-93. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.020>
- Hebbink, G., Berkvens, L., Bun, M., van Kerckhoff, H., Koistinen, J., Schotten, G., Stokman, A., *et al.* (2018). The price of transition: An analysis of the economic implications of carbon taxing. *Netherlands Central Bank, Research Department*.
- IPCC. (2022a). Climate change 2022: Mitigation of climate change. *IPCC Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3>
- Lynch, C., Simsek, Y., Mercure, J.-F., Fragkos, P., Lefèvre, J., Le Gallic, T., Fragkiadakis, K., Paroussos, L., Fragkiadakis, D., Leblanc, F., & Nijse, F. (2024). Structural change and socio-economic disparities in a net zero transition. *Economic Systems Research*. <https://doi.org/10.1080/09535314.2024.2371306>
- Magacho, G., Espagne, E., & Godin, A. (2022). Impacts of CBAM on EU trade partners: Consequences for developing countries. *AFD Research Papers, 238*, 1–25.
- Magacho, G., Espagne, E., Godin, A., Mantes, A., & Yilmaz, D. (2023). Macroeconomic exposure of developing economies to low-carbon transition. *World Development, 167*. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106231>
- McGlade, C., & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C. *Nature, 517*, 187–190. <https://doi.org/10.1038/nature14016>

- Mealy, P., & Teytelboym, A. (2022). Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 51(8), 103948-. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>
- Mercure, J.-F., Sharpe, S., Viñuales, J. E., Ives, M., Grubb, M., Lam, A., Drummond, P., Pollitt, H., Knobloch, F., & Nijse, F. J. M. M. (2021). Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal. *Global Environmental Change*. 70, 102359-. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102359>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: Foundations and extensions*. Cambridge University Press.
- Moz-Christofoletti, M. A., & Pereda, P. C. (2021). Winners and losers: The distributional impacts of a carbon tax in Brazil. *Ecological Economics*, 183, 106945. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>
- NFGS. (2021). NGFS climate scenarios for central banks and supervisors. *Network for Greening the Financial System*.
- Peszko, G., van der Mensbrugge, D., Golub, A., Ward, J., Zenghelis, D., Marijs, C., et al. (2020). *Diversification and cooperation in a decarbonizing world: Climate strategies for fossil fuel-dependent countries*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Romero, J. P., & Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>
- Rosemberg, A. (2010). Building a just transition: The linkages between climate change and employment. *International Journal of Labour Research*, 2(2), 125–162. · DOI:10.5848/ILO.978-9-221254-79-9\_2
- Rozenberg, J., Vogt-Schilb, A., & Hallegatte, S. (2018). Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital. *Journal of Environmental Economics and Management*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.10.005>
- Saget, C., Schilb, A. V., & Luu, T. (2020). *Jobs in a net zero emissions future in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank and International Labour Organization. <https://doi.org/10.18235/0002509>

- Savona, M., & Ciarli, T. (2019). Structural changes and sustainability: A selected review of the empirical evidence. *Ecological Economics*, 159, 244-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.028>
- Semieniuk, G. (2018). Energy in economic growth: Is faster growth greener? SOAS Department of Economics Working Paper Series, No. 208
- Semieniuk, G., Campiglio, E., Mercure, J.-F., & Edwards, U. V. N. R. (2021). Low carbon transition risks for finance. *WIREs Climate Change*, 12, e678. <https://doi.org/10.1002/wcc.678>
- Shukla, P., Skea, J., Slade, R., Khourdajie, A. A., van Diemen, R., McCollum, D., et al. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- TCFD. (2019). *Status report overview*. Task Force on Climate-related Financial Disclosures.
- Tong, D., Zhang, Q., Zheng, Y., et al. (2019). Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target. *Nature*, 572, 373–377. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1364-3>
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. United Nations Treaty Collection, New York.
- van der Ploeg, R., Rezai, A., et al. (2019). Stranded assets in the transition to a carbon-free economy. *Department of Economic Discussion Paper Series*, 894. University of Oxford. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110519-040938>
- Welsby, D., Price, J., Pye, S., & Ekins, P. (2021). Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*, 597. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>