



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

Revista de Economía,

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán

Desagregación del sector eléctrico en la matriz de contabilidad social. La transición de la generación eléctrica y la seguridad energética en México

Disaggregation of the electricity sector within the social accounting matrix. The transition of power generation and the energy security in Mexico

Reynier Rodríguez Socarrás¹ - Alejandro Dávila Flores²

Resumen

México enfrenta el desafío dual de reducir su impacto ambiental y asegurar la estabilidad en el abasto de electricidad a costos accesibles dentro de un mercado global volátil. El presente estudio caracteriza el sector eléctrico mexicano y analiza los efectos de su estructura actual sobre la economía a través de un modelo de contabilidad social con desagregación específica para este sector. De esta forma se corrigen los sesgos asociados a matrices insumo-producto tradicionales y se proporciona un marco detallado para el análisis de las diferentes tecnologías de generación eléctrica. Los resultados muestran que la elevada dependencia de insumos fósiles por parte del sector eléctrico, <particularmente las plantas carboeléctricas, termoeléctricas convencionales y de ciclo combinado>, genera inestabilidad y elevados costos tanto para el sector industrial como para el consumo residencial. Mientras la mayoría de los estudios que emplean esta metodología se enfocan en el análisis medioambiental, el presente estudio enfatiza que la transición energética es también una prioridad económica y de seguridad energética. Se concluye así que las políticas orientadas a la transición de generación eléctrica tienen el potencial de proteger el bienestar de la industria, las poblaciones vulnerables y la seguridad energética nacional.

Palabras clave: Transición energética, insumos fósiles, precios eléctricos, matriz de contabilidad social, tecnologías de generación eléctrica.

Clasificación JEL: C67, D57, E37, E61, F52, L52, Q42, Q43, R15.

1- Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigaciones Socioeconómicas, México, Correo electrónico: reynier.socarras@uadec.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8708-7949>

2- Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigaciones Socioeconómicas, México, Correo electrónico: alejandrodavila@uadec.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9276-407X>



Abstract

Mexico faces the dual challenge of reducing its environmental impact while ensuring a stable and affordable supply of electricity within a volatile global market. This study offers a profile of the Mexican electricity sector and examines how its current structure affects the economy using a social accounting matrix model specifically disaggregated for this sector. This approach corrects the biases commonly found in traditional input-output matrices and provides a detailed framework for analyzing different power generation technologies. Findings reveal that the sector's strong dependence on fossil fuels—particularly through coal-fired, conventional thermal, and combined-cycle power plants—results in both high costs and greater instability, affecting industry and households alike. Unlike most research that applies this methodology with a focus on environmental outcomes, this study highlights that energy transition is equally critical for economic resilience and energy security. It argues that transitioning to cleaner energy sources helps shield the industrial sector, protect vulnerable communities, and strengthen national energy security.

Keywords: Energy transition, fossil fuels, electricity cost, social accounting matrix, power generation technologies.

JEL Classification: C67, D57, E37, E61, F52, L52, Q42, Q43, R15.

1. Introducción

Durante la Conferencia de las Partes 28 de las Naciones Unidas (COP28) por primera vez se declaró, de forma explícita en su reporte oficial, a los combustibles fósiles como los responsables principales del cambio climático y la necesidad de la transición hacia su abandono y la adopción de energías renovables (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2023). Aunque en la última conferencia se volvió a omitir la referencia a éstos, resultado de la presión por parte del lobby petrolero (UNFCCC, 2024), la preocupación por el medio ambiente y sus ya tangibles consecuencias alrededor del mundo, han generado un prolongado interés en el análisis de las políticas de transición energética, en particular, de la generación de energía eléctrica, responsable de más del 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a escala global debido al uso intensivo de combustibles fósiles (Dhakal *et al.*, 2022). México representa el 1.42% de estas emisiones globales y es el segundo país de Latinoamérica con una mayor contribución per cápita, sólo superado por Brasil (Friedrich *et al.*, 2023).

Como parte de los firmantes del Acuerdo de París, México dispone de una Ley General de Cambio Climático y de un marco constitucional para establecer objetivos a favor de mitigar la emisión de gases contaminantes. En este sentido, la reforma eléctrica de 2013 dio paso a una nueva Ley de Industria Eléctrica (Secretaría de Energía, 2014), que tuvo como finalidad impulsar el desarrollo de este sector asegurando la transición hacia modos de generación menos contaminantes. La reforma ha sido modificada dando mucha más participación al estado como garante y responsable del futuro eléctrico del país, pero sin abandonar la prioridad en la transición energética (Presidencia de la República, 2025).

Entre los factores que apremian la necesidad del cambio de paradigma energético, el más di-

fundido a nivel mediático es la presión para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. La mayor fuente de estudios del sector eléctrico mediante técnicas multi-sectoriales se centra particularmente en este aspecto, mucho más cuando estos consideran las diferentes tecnologías de generación eléctrica.

Sin embargo, en el caso de México, pasar a modos de generación de electricidad con fuentes más limpias va más allá de asegurar menores emisiones de gases contaminantes. La transición incide directamente sobre dos aspectos claves entrelazados en el futuro eléctrico del país: la seguridad energética y los precios de este insumo estratégico. Integrar energías renovables en la generación eléctrica reduce los costos de producción y minimiza la dependencia del sistema eléctrico de los combustibles fósiles, de los cuales, de acuerdo con datos de la matriz de contabilidad social utilizada en este artículo (INEGI, 2021), la mitad llegan al país por importación, por lo que su precio no se determina dentro de la economía nacional.

Evidenciar la importancia de la transición energética en términos de los precios de la electricidad y la seguridad energética del país, mediante el análisis de los efectos del sector productivo eléctrico (particularmente de la generación de electricidad) requiere la desagregación del sector eléctrico por tecnología de generación. La disponibilidad de datos para hacerlo, en el marco metodológico de las tablas de Insumo-Producto de México, es bastante limitada, sin embargo, debido a la heterogeneidad de las estructuras de costos de cada tecnología, realizar el análisis tradicional a un nivel tan agregado del sector eléctrico provoca un fuerte sesgo en los resultados. Resulta pertinente estimar la desagregación incluso utilizando las fuentes de información complementarias y metodologías alternativas que se presentan en este documento.

El presente estudio presenta un modelo multisectorial basado en la Matriz de Contabilidad Social (MCS) de INEGI, construido con el sector eléctrico desagregado por tipo de tecnología de generación, y analiza el sector eléctrico desde una perspectiva de eficiencia económica a través de un modelo de precios. Simula los impactos de un choque externo sobre las importaciones de la generación eléctrica en insumos de energía primaria, evidenciando el efecto diferenciado que cada tecnología de generación provoca en los precios finales de la electricidad, y cómo estos repercuten en el funcionamiento de la economía y en la seguridad energética de México.

El documento consta de una primera sección de revisión de literatura donde se aborda el concepto de seguridad energética, así como un recuento de los principales estudios y temáticas que se han abordado en los modelos de insumo producto y matrices de contabilidad social para el sector eléctrico. Luego se presenta una sección de datos donde se explican las fuentes de información utilizadas, así como la metodología usada en la construcción de la desagregación para el sector de generación eléctrica. En la sección 4 se abordan las metodologías de análisis utilizadas y para la sección 5 se presentan los principales resultados y su relevancia con la seguridad energética. Por último, se abordan las conclusiones del trabajo y como responden los resultados obtenidos a los objetivos propuestos y su implicación en materia de política pública.

2. Revisión de literatura

Si bien el concepto no está definido de manera única y suele tener un carácter multidimensional en la literatura, se suele entender la seguridad energética como la capacidad de un país para satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia tanto en el presente como hacia el futuro (Rodríguez Padilla, 2018).

Esta definición suele incluir un contenido geopolítico para los países consumidores, ya que su dependencia al mercado externo los vuelve vulnerables tanto a cambios en los ámbitos políticos y económicos del mundo. México dejó de ser un país exportador neto de energía desde 2015 y ha perdido de manera sostenida autosuficiencia energética desde 2003 (Rodríguez Padilla, 2018). Como resultado, el sector presenta una vulnerabilidad preocupante ante cambios imprevistos en el mercado mundial de estos insumos y que influyen directamente sobre los precios finales del servicio eléctrico.

Esta situación se relaciona estrechamente con otra definición de la seguridad energética: el abastecimiento o la disponibilidad de una oferta adecuada de energía a precios asumibles (Escribano, 2006). El sector residencial y la industria son los sectores más demandantes de energía eléctrica, y un crecimiento económico sostenido, en un contexto de creciente electrificación de los sistemas productivos y de consumo, necesariamente requiere de un suministro eléctrico a precios accesibles, que se determinen, de preferencia, dentro de la economía nacional.

Entendiendo entonces su definición como la capacidad interna de oferta energética a precios accesibles para la población y la industria, tenemos que los choques externos en los precios de las importaciones del sector eléctrico pueden llegar a poner en riesgo la seguridad energética del país. En el contexto mexicano, poco menos de la mitad (49.7%) del gasto en insumos primarios corresponde a bienes importados, siendo en su mayoría combustibles fósiles (INEGI, 2021). Además, las consecuencias de esta vulnerabilidad se extienden al resto de sectores económicos mediante los efectos multiplicadores. En este sentido, los combustibles fósiles entrelazan tres temas de gran relevancia para el país, la seguridad energética, el desarrollo económico y la consecuencia más asociada a ellos: las emisiones contaminantes. La transición energética hacia tecnologías de generación renovables se muestra como una solución que ataca de manera simultánea a estas tres problemáticas.

Las matrices de contabilidad social, junto con los modelos multisectoriales, constituyen herramientas analíticas idóneas para evaluar los impactos de la transición energética en estas múltiples dimensiones. No obstante, la literatura empírica disponible respecto de este tipo de análisis tiende a concentrarse predominantemente en los aspectos ambientales, dejando muchas veces un vacío sobre las implicaciones económicas y, para el caso mexicano, sobre la seguridad energética.

Estudios como los de Manresa y Sancho (2004) y Cardenete *et al.* (2008) fueron algunos de los estudios pioneros en el uso de modelos multisectoriales y el análisis de Leontief para enfatizar la necesidad de la transición calculando intensidades energéticas y emisiones de CO₂ de las actividades productivas. El impuesto al carbono y el doble dividendo son temas frecuentemente usados en modelos insumo-producto y matrices de contabilidad social. Freire-González (2018) contabiliza un total de 69 simulaciones a través de 40 estudios de este tipo. En publicaciones recientes como las de Moosavian *et al.* (2022) y Rahma *et al.* (2025) se continúa con dicha tendencia.

Otras investigaciones sí abordan los efectos sobre la economía del cambio a energías renovables usando el análisis de Leontief como base. Černý *et al.* (2021) destacaron la transición en el sector eléctrico como instrumento para la creación de empleos de mediana y alta cualificación en la Unión Europea; Garrett-Peltier (2016) concluyó que, para el caso de Estados Unidos, una transferencia de un millón de dólares de combustibles fósiles a energía limpia genera un aumento neto de aproximadamente cinco puestos de trabajo. Sun *et al.* (2022) reconocieron que la transición energética afecta a toda la cadena industrial china, aumentando la producción hasta en un 8.21%, el valor añadido en un 8.20% y el empleo en un 7.97%. También Topcuoğlu y Oral (2020) desarrollaron un análisis similar, examinando la importancia,

la estructura y la relación de la industria energética con el resto del sistema económico, a través del uso de tablas Insumo-Producto en Turquía.

En México también la problemática ambiental es la más común entre las investigaciones con modelos multisectoriales para el estudio del sector eléctrico. Debido a la puesta en marcha de la reforma en materia energética de 2013, y luego de su implementación, el interés por el tema climático, energético y en particular del sector eléctrico ha ido en aumento. Ortiz (2011) realizó uno de los primeros estudios en materia de requerimientos de energía a través de las matrices energéticas para el caso de México en el período 1971-2007. En el trabajo de Chapa y Ortega (2017) se identifican los principales sectores contaminantes de la economía, incorporando además un estudio sobre la afectación de un impuesto al carbono en los sectores y en los hogares a través de los diferentes deciles de ingreso. Santillán *et al.* (2021) identificaron la relación entre el cambio climático y la desigualdad en el ingreso calculando la estructura y la intensidad de las emisiones en los hogares mexicanos.

Las estrategias de mitigación a la emisión de gases contaminantes mediante impuestos al carbono han sido propuestas también para el caso de México por diferentes estudios con modelos multisectoriales, para desincentivar la generación mediante tecnologías contaminantes e incentivar el desarrollo de nuevos proyectos de inversión en energía limpia (Ruiz, 2012, Bravo *et al.*, 2017).

En cuanto a los beneficios económicos, Moreno *et al.* (2014) subrayaron la importancia de mejorar los costos energéticos para mejorar la competitividad industrial, en particular para la competitividad internacional. Destacaron que las estructuras de costos de las tecnologías tradicionales son más intensivas en insumos primarios de energía mientras las tecnologías limpias no requieren un coste operacional tan elevado, aunque si requieren de fuertes costos de capital de inversión inicial.

Vaca *et al.* (2019), simularon varios escenarios de aumento en los costos de la electricidad en México y profundizaron sobre los efectos que se provocan en la economía mexicana, a través del uso de un modelo de precios. Su trabajo muestra la alta dependencia de la economía mexicana respecto de los combustibles fósiles y señala la necesidad de establecer programas de generación de electricidad con fuentes alternativas de energía. Esta investigación continúa en el documento de Vaca y Kido (2021), en donde identificaron los sectores claves en el uso de energía eléctrica, calcularon las emisiones de CO₂ correspondientes a algunas tecnologías de generación y con base en los resultados propusieron una estrategia de eficiencia en el consumo de electricidad y mitigación para el aparato productivo nacional.

Si bien existe literatura que aborda los beneficios económicos de la transición, tanto en estudios empíricos alrededor del mundo como en México, su enfoque se concentra en los efectos sobre el empleo y la producción, mientras que los efectos sobre el precio final de la electricidad, o bien quedan implícitos, o no son considerados varias veces. El cuerpo restante de la literatura se centra predominantemente en los beneficios ambientales y en la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes, poniendo especial énfasis en el impuesto al carbono como instrumento eficaz para alcanzar un doble dividendo; es decir, beneficios tanto ecológicos como económicos.

Tal como se definió en esta investigación, la perspectiva de seguridad energética no es abordada en ninguna de las investigaciones revisadas y sufre de un vacío en cuanto a su importancia relativa a la adopción de energías limpias. El objetivo de esta investigación es modelar cómo los choques externos en los precios de las importaciones de insumos primarios (particularmente de combustibles fósiles) en el sector eléctrico impactan sobre el funcionamiento de la economía mexicana y, en consecuencia, analizar cómo la transición energética podría contribuir también a la reducción de la vulnerabilidad del país en ma-

teria de seguridad energética. La particularidad adicional de la desagregación del sector eléctrico, inédito para el caso mexicano, aporta un análisis mucho más robusto y necesario en este tipo de análisis.

3. Datos

El 26 de abril de 2021, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México presentó, por primera vez, una colección de matrices de contabilidad social para el período 2012-2018, en un formato que sigue de cerca la secuencia de cuentas del Sistema de Cuentas Nacionales de las Naciones Unidas. La construcción de estas matrices se realizó a través del ensamble de varios productos del propio INEGI, tales como: las cuentas por sectores institucionales, los cuadros de Oferta y Utilización, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) y el Proyecto KLEMS. Se utilizó la MCS doméstica del 2018, con cifras en millones de pesos corrientes y a precios básicos (2013=100), junto con la matriz de importaciones del mismo año.

La MCS constituye una generalización del SCN (Sistema de Cuentas Nacionales) donde la característica más novedosa es la incorporación de transacciones y transferencias entre instituciones relacionadas con la distribución del ingreso en toda la economía. La MCS puede ser resumida como un sistema de equilibrio general de las cuentas de ingresos y gastos que vincula las actividades productivas, los factores de producción y las instituciones de una economía. Su estructura general se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estructura general de una MCS

Por		Cuentas Endógenas			Cuentas Exógenas	Total
Para		Producción	Factores	Inst y Hog		
Cuentas Endógenas	Producción	S		C	f_p	x_p
	Factores	V			f_F	x_F
	Instituciones y Hogares		Y	H	f_H	x_H
Cuentas Exógenas		e_p	e_F	e_H		
Total		x'_p	x'_F	x'_H		

Fuente: Elaboración propia guiada por van Leeuwen (2010).

Ninguna de las tablas insumo producto, incluyendo todas estas matrices de contabilidad social disponibles en INEGI, posee una desagregación detallada del sector eléctrico. En las cuentas nacionales de INEGI, la mayor desagregación disponible en la clasificación SCIAN sólo se divide entre la correspondiente al sector 221 Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica y al sector 222 Suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final. La desagregación del sector 221

implica realizar estimaciones basadas en datos oficiales externos a las estadísticas de la MCS e incluso externos a las cuentas nacionales.

El sector 221 representa una de las actividades económicas que pueden sufrir del efecto referido en la literatura de insumo-producto como “sesgo por agregación” (Kymn, 1990). Si bien en algunas actividades la agregación de subsectores tiene pocos efectos adversos en la representación económica de las tablas insumo-producto y en los resultados de su análisis debido a su tamaño, relevancia o estructura similar, los sectores que agregan actividades económicas con una composición de compras y/o ventas muy heterogéneas, sufren sesgo en los resultados al juntar estructuras muy diferentes (Miller y Blair, 2009). Este problema es ilustrado por Lenzen (2011) para matrices insumo producto, y extendido al análisis con Matrices de Contabilidad Social por Llop y Manresa (2014), sin cambiar significativamente la magnitud del problema en ningún sentido.

El uso de una entrada agregada para el sector eléctrico supone que cada tecnología de generación de electricidad utiliza las energías primarias — y otros insumos — en el promedio de ese sector, lo cual pudiera ser plausible para los demás insumos, pero para el caso de las materias primas energéticas dista de ser correcto. Los costos asociados con una unidad de producción de carbón son muy diferentes a los de una unidad de producción de fuentes de energía renovable. La desagregación basada incluso en pequeñas porciones de información puede mejorar significativamente la precisión de los multiplicadores insumo-producto (Lenzen, 2011).

El dato más utilizado en la literatura sobre desagregación es el producto bruto total de cada uno de los subsectores, o en su defecto, la proporción en la cual este producto se distribuye. Estas ponderaciones se utilizan para formar una suposición inicial para la desagregación (Wolsky, 1984). La estimación inicial se puede enriquecer con información adicional del sector eléctrico, datos o *proxys* de las compras y ventas intermedias de los subsectores, ya que permiten obtener una aproximación más cercana a la distribución real (Lindner, Legault, y Guan, 2013).

Una forma de realizar la primera apertura y obtener los costos de generación es utilizar la producción eléctrica en GWh y suponer un precio de la electricidad uniforme (Lindner *et al.*, 2012); sin embargo, como destacan Peters y Hertel (2016), los costos unitarios difieren entre tecnologías, por lo que esta suposición pudiera sesgar en gran medida la apertura. Para nuestro caso, en los censos económicos de 2019 (INEGI, 2021) encontramos desagregada la producción bruta en millones de pesos en estas ramas.

Esta información no coincide con la producción bruta total reportada en la matriz, pero es un buen *proxy* para calcular las proporciones de cada subrama y obtener los pesos (proporciones) del producto bruto total iniciales a la primera desagregación del sector 221 en 2211 Generación de Energía Eléctrica y 2212 Transmisión, Distribución y Comercialización (TDC) de Energía Eléctrica. Para abrir la generación de energía eléctrica se utiliza información del Observatorio de la Transición Energética en México (OBTREN MX, 2022), correspondiente a la generación de energía eléctrica por tipo de central, y los precios marginales locales con los que se obtienen los ingresos anuales de la venta de electricidad en el Mercado Eléctrico Mayorista de corto plazo.

Se consideró la energía eléctrica generada por día y por hora (MWh) durante el 2018, por tipo de central y los precios marginales locales (PML), promedios diarios y por hora (pesos por MWh), a los cuales se vendió la electricidad en el Mercado del Día en Adelanto (MDA) a los diferentes tipos de usuarios del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se multiplicó la generación por su

PML correspondiente y el producto resultante se sumó, obteniéndose los ingresos en pesos para el año analizado por cada una de las centrales eléctricas de las siete tecnologías de generación consideradas. Se agregaron los valores para las termoeléctricas de vapor, turbo gas y combustión interna en una sola rama de termoeléctricas convencionales, así como la geotérmica y la nucleoelectrica en la rama *Otras energías limpias*. Las proporciones finales se muestran en el Cuadro 2 para una primera aproximación de la apertura.

Cuadro 2. *Apertura inicial del sector eléctrico mexicano (Valores en millones de pesos)*

Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica							
602 568 (100%)							
(1)	Generación de energía eléctrica						TDC* de energía eléctrica
	404 162 (67.07%)						198 407 (32.93%)
Ciclo Combinado	Carbo-eléctrica	Termo-eléctrica Convencional	Energía hidráulica	Energía solar	Energía eólica	Otras energías limpias	(2)
204 938 (34.01%)	35 511 (5.89%)	76 882 (12.76%)	46 576 (7.73%)	3 030 (0.50%)	14 639 (2.43%)	22 586 (3.75%)	

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Económico 2019 de (INEGI, 2021) y OBTRIN (2022).

*Transmisión, Distribución y Comercialización.

A diferencia de Cruz (2002), no se toma en cuenta el supuesto de que toda la generación va al sector de transmisión, distribución y comercialización de la electricidad. Por el contrario, suponemos que los sectores de generación sí poseen una estructura de venta sobre los demás sectores de la economía, en este caso la resultante de la apertura inicial. Para la estructura de costos de cada tecnología, una vez obtenida la estimación inicial, se agrega información adicional que ajuste la estimación hacia un escenario más realista sobre la estructura de la desagregación. Las energías primarias representan los insumos más determinantes en el funcionamiento de la generación eléctrica, principalmente en las tecnologías de combustibles fósiles que utilizan estos insumos para su funcionamiento.

Para estimar el costo de combustible se siguió la metodología descrita en COPAR (2015), calculando el consumo de combustible de cada central y dividiendo el régimen térmico de cada central (*RegTer*) entre el poder calorífico del combustible (*PowCal*). El régimen térmico promedio (GJ/MWh) obtenido del PRODESEN (CENACE, 2018), es la relación entre la energía suministrada al ciclo termodinámico en forma de combustible (GJ) y la energía que se obtiene a la salida del generador eléctrico en forma de electricidad (MW). El poder calorífico de cada combustible se obtuvo del Cuadro 3.4 de COPAR (2015) y expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente.

El consumo de cada unidad generadora es multiplicado luego por el precio del combustible

que utiliza para obtener el costo de generación promedio por mega watt/hora y luego por la generación total para el año 2018. La ecuación (1) resume la fórmula para el cálculo del gasto de la generación en combustibles primarios. Se calcula el costo de la generación para cada central i , en concepto de combustibles k que utiliza, es decir carbón, gas natural, diésel, combustóleo y uranio.

$$\text{CostoGeneración}_i = \frac{\text{RegTer}_i}{\text{PowCal}_k} * \text{Precio}_k * \text{GeneraciónTotal2018}_i \quad (1)$$

Los precios fueron consultados en el Anexo B del Acuerdo Núm. A/058/2017: “Acuerdo por el que la comisión reguladora de energía expide la metodología para determinar el cálculo y ajuste de las tarifas finales, así como las tarifas de operación, que aplicarán a la empresa productiva subsidiaria *CFE suministrador de servicios básicos* durante el periodo que comprende del 1 de diciembre de 2017 al 31 de diciembre de 2018”. La energía eléctrica generada en el 2018 en cada central está disponible en el Observatorio de la Transición Energética en México (OBTREN, 2022). Más detalles de este cálculo pueden encontrarse en Gutiérrez Alonso (2022).

Se agregan los costos por consumo de combustible y se obtiene una estimación de la proporción en la que el sistema eléctrico mexicano utiliza las diferentes energías primarias, así como su uso de acuerdo con el origen del insumo. El carbón se reasignó en la misma proporción tanto para las compras domésticas como importadas, mientras que para el resto de los combustibles, se utilizó información de la Prospectiva del Gas Natural 2018-2032 y Prospectiva del petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032 de la Secretaría de Energía (SENER, 2020). Los resultados se observan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Participación de los diferentes combustibles en el costo total y origen de energías primarias

Combustible	Proporción de uso en SEN	Origen Doméstico	Origen Importado
Gas Natural	64.7%	39%	61%
Carbón	11.4%	50%	50%
Combustóleo	13.5%	85%	15%
Diésel	9.8%	37%	63%
Uranio	0.6%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia con información y metodología de (COPAR, 2015), (CENACE, 2018), (Secretaría de Energía, 2020) y (OBTREN, 2022).

El carbón se reasignó hacia las tecnologías de carboeléctricas y termoeléctricas convencionales, de acuerdo con la muestra proporcionada por el PIIRCE (CENACE, 2018), relativa al número de unidades eléctricas que emplean carbón. El diésel, combustóleo, gas natural y uranio se supusieron provenientes del subsector 324-325, Derivados del petróleo y del carbón e industrias

químicas. El diésel y el combustóleo fueron asignados a las termoeléctricas convencionales y el uranio hacia otros tipos de tecnologías limpias donde se contabilizaron las nucleoelectricas. El gas natural fue distribuido entre ciclo combinado y termoeléctricas convencionales, igualmente mediante una proporción calculada con el número de centrales y el costo de generación de cada tecnología. La distribución final se detalla en el cuadro 4.

Una vez reasignados los insumos energéticos, la matriz importada queda finalizada con nuevos valores totales de importación que afectan la contabilidad inicial del producto bruto total y la matriz doméstica queda desbalanceada. Los totales por tecnología del cuadro 2 son el dato más fuerte de todo el proceso de desagregación y el más justificado metodológicamente con la apertura inicial. Se prefiere dejarlo fijo. Se redefine el total del consumo intermedio buscando compatibilidad con los nuevos valores incorporados.

Con datos del censo económico (INEGI, 2021) se calcula la proporción que representa el consumo intermedio del producto bruto total para cada tecnología. Multiplicando estas proporciones por los PBT iniciales, se calcula un estimado del consumo intermedio total, alternativo al obtenido después de la reasignación de energías primarias. Ambos resultados son incompatibles con la contabilidad general de la matriz. Para la tecnología de ciclo combinado se mantiene el total derivado de la reasignación y para las restantes tecnologías se incorpora la nueva estimación basada en censos. El residuo es atribuido al sector de transmisión y distribución de la electricidad.

Cuadro 4. *Distribución de los insumos provenientes del sector Minería de carbón mineral (2121) y Derivados del petróleo y del carbón e industrias químicas (324-325) por tipo de tecnología doméstica e importada*

		Ciclo combinado	Carbo- eléctrica	Termo- eléctrica Convencional	Energía hidráulica	Energía solar	Energía eólica	Otras Energías limpias
Minería de carbón mineral	Doméstico		94.5%	5.5%				
	Importado		94.5%	5.5%				
Derivados del petróleo e industria petroquímica	Doméstico	40.3%		59.7%				
	Importado	52.8%		46.0%				1.2%

Fuente: Elaboración propia con datos de (COPAR, 2015), (INEGI, 2021), (OBTREN, 2022), y la MCS (INEGI, 2018).

Con los totales de consumo intermedio doméstico se ajustan los valores de las celdas del consumo intermedio para las 7 columnas de la apertura mediante el RAS modificado para matrices en conflicto con su información (MRAS). Se fijan (es decir, se igualan a 0) los valores de

las compras intermedias de energía primaria (sectores 2121 y 324-326) y se ajustan las matrices con RAS. Se reincorporan los valores de las compras intermedias de energía primaria de los sectores 2121 y 324-326 y la contabilidad general de la matriz queda restaurada. Más detalles sobre este método pueden consultarse en Lenzen *et al.* (2009). Por último, con la diferencia entre el producto bruto y el consumo intermedio, se obtienen los totales de valor agregado. Se fijan los valores de las remuneraciones a los asalariados y otros impuestos a la producción, y se ajusta por diferencia el valor del excedente bruto de capital.

4. Metodología

4.1 Modelo Insumo Producto

Denotando la matriz de cuentas endógenas que incluye las submatrices **S**, **V**, **Y**, **C** y **H** como una matriz **Z**, el cuadro 1 puede ser representado de la siguiente forma matricial:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f} \quad \text{donde } \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_P \\ \mathbf{x}_F \\ \mathbf{x}_H \end{bmatrix}, \mathbf{i} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_P \\ \mathbf{f}_F \\ \mathbf{f}_H \end{bmatrix}$$

En esta ecuación, el vector **x** es el valor de la producción bruta total y **f** la demanda final exógena (inversión, gastos de gobierno y exportaciones). Además, el vector **i** tiene 1 en todos sus elementos y post multiplicado por **Z** representa la suma por filas de esta última.

Expresando las sumas por filas **Zi** en términos de la matriz **A** de coeficientes técnicos directos (Miller y Blair, 2009), se obtiene:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}$$

Cada elemento de **A** representa la proporción de insumos necesitada para generar una unidad de producto **x**. Por último, despejando el vector **x** se obtiene la inversa de Leontief o matriz de requerimientos totales (directos e indirectos).

$$\begin{aligned} \mathbf{x} - \mathbf{A}\mathbf{x} &= \mathbf{f} \\ (\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} &= \mathbf{f} \\ \mathbf{x} &= \underbrace{(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}}_{\text{Inversa de Leontief}} \mathbf{f} \end{aligned}$$

La inversa de Leontief es también conocida en la literatura como la matriz de multiplicadores y denotada usualmente como **M** o **L**. La última ecuación permite obtener los totales de producción correspondientes a una demanda final **f** arbitraria y sus efectos sobre la producción **x**.

4.2 Modelo de precios

El modelo de Leontief descrito suele tratarse en términos de producción. Referirse a los elementos de **f** y **x** de esta forma, ya sea en términos físicos o monetarios, implica una suposición importante: los precios son invariantes. Otra forma de definir la relación de los datos en el cuadro 1 es analizando las sumas por columnas:

$$\mathbf{x} = \mathbf{iZ} + \mathbf{e} \quad \text{donde } \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_P \\ \mathbf{x}_F \\ \mathbf{x}_H \end{bmatrix}^T, \mathbf{i} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}^T, \mathbf{e} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_P \\ \mathbf{e}_F \\ \mathbf{e}_H \end{bmatrix}^T$$

Definiendo como elementos del vector se obtiene las siguientes identidades basadas en la matriz $\mathbf{A}$:

$$\mathbf{i}^T \mathbf{A} + \mathbf{v}^T = \mathbf{i}^T$$

El lado derecho de esta ecuación representa los costos de los insumos por unidad del producto. Por tanto, ilustra las unidades de medida únicas en la tabla del año base: las cantidades que se pueden comprar por \$1.00 (Miller y Blair, 2009). Al denotar estos índices de precios del año base en un vector $\mathbf{p}$ se desarrolla para obtener el llamado modelo de precios:

$$\mathbf{p}^T \mathbf{A} + \mathbf{v}^T = \mathbf{p}^T$$

Despejando el vector de índices de precios obtenemos una fórmula, nuevamente con la inversa de Leontief, que permite modelar la variación en los precios finales causada por un cambio en los costos exógenos $\mathbf{v}'$:

$$\begin{aligned} \mathbf{p}^T - \mathbf{p}^T \mathbf{A} &= \mathbf{v}^T \\ \mathbf{p}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}) &= \mathbf{v}^T \\ \mathbf{p}^T &= \mathbf{v}^T \underbrace{(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}}_{\text{Inversa de Leontief}} \\ \mathbf{p}^T &= \mathbf{v}^T \mathbf{L} \end{aligned}$$

Esta versión dual del modelo regular se aplica en la simulación de procesos inflacionarios de empuje de costos. Impulsados estos por el vector de costos exógenos $\mathbf{v}'$, a diferencia del modelo de producción, el cual es comandado por la demanda exógena $\mathbf{f}$. En este caso, el supuesto que se está adoptando es que las cantidades de producción se mantienen fijas y la variación ocurre en los precios.

En este modelo, como en el de producción, aplican los mismos supuestos estrictos y estándares de la versión cuantitativa (Miller y Blair, 2009), junto con la suposición de que cada incremento en el precio pasa enteramente hacia el comprador tomador de precios, cuya demanda no reacciona en lo absoluto (Oosterhaven, 1996). La elección de este modelo responde al análisis de seguridad energética y precios finales de la electricidad. Las importaciones sectoriales en la MCS 2018 representa una cuenta exógena y es donde se simulan los choques externos en los precios y a través del modelo las consecuencias en los precios finales de la electricidad y en el resto de las actividades económicas.

4.3 Multiplicadores de Leontief

En el análisis de insumo producto la producción de un sector posee dos tipos de efectos económicos sobre los demás sectores de la economía. Si la demanda de un sector aumenta, esta provocará una demanda adicional en las demás actividades productivas para satisfacerla, de esta manera “arrastrará” a los sectores que más necesite para cumplir con la producción inducida por la demanda inicial (Miller y Blair, 2009). Este primer efecto se denomina vinculación hacia atrás, efectos de absorción o “efecto arrastre”. Los sectores con mayores efectos de arrastre posibilitan el desarrollo de la economía en general, desde el lado de la

demanda, cuando su crecimiento es potenciado.

El segundo efecto opera del lado de la oferta. El crecimiento de un sector significa que su producto se encuentra disponible para que sea usado como insumo en las demás actividades económicas. Este efecto es conocido como efecto de difusión, vinculación hacia adelante o “efecto de empuje”. Los sectores con grandes efectos de este tipo suelen ser indispensables en una economía y su poco desarrollo puede provocar cuellos de botella en la producción, al no satisfacer toda la demanda que de ellos se espera. Desde el punto de vista monetario, estos sectores también son propagadores de costos. Un aumento en el costo de productos con altos índices de difusión provoca que todas las actividades económicas sufran un proceso inflacionario.

La cuantificación de estos efectos, así como la clasificación de los sectores de acuerdo con criterios de arrastre, se pueden obtener calculando la suma por filas y por columnas de la inversa de Leontief L .

$$BL(t)_j = \sum_{i=1}^n l_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad FL(t)_i = \sum_{j=1}^n l_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

A través de estos índices se tiene el cálculo absoluto de los efectos de absorción y difusión. Estos proporcionan información sobre el efecto en la producción total que genera la economía, dada una demanda exógena unitaria sobre un sector, en el caso de los efectos de arrastre, y sobre todas las actividades, en el caso de los segundos. También se puede cuantificar cuánto afecta a los precios finales de toda la economía un aumento en los costos de un sector en particular.

Para clasificar los sectores sobre sus niveles de arrastre y/o empuje es necesario normalizar los índices y expresar dichas clasificaciones relativas a algún parámetro. Varias normalizaciones han sido propuestas y usadas en estudios empíricos, tales como el “Índice de Poder de Dispersión” propuesto por Rasmussen (1957) y utilizado en Fuentes y Sastré (2001), donde se normaliza con el promedio de los efectos de absorción y difusión.

$$\overline{BL}(t)_j = \frac{BL(t)_j}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n BL(t)_j} \quad \overline{FL}(t)_i = \frac{FL(t)_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n FL(t)_i}$$

Se suele establecer una clasificación en cuatro cuadrantes con las etiquetas (1) generalmente independiente de (sin conexiones fuertes con) otros sectores, (2) generalmente dependiente a (conectado fuertemente con) otros sectores, (3) dependiente de la oferta interindustrial y (4) dependiente de la demanda interindustrial. Estudios como el de Dávila (2019) clasifican estos cuadrantes como (1) Independientes, (2) Claves, (3) Impulsores y (4) Estratégicos. Esta clasificación responde a un criterio más cercano a la creación de políticas, siguiendo lo que aporta cada uno al desarrollo de la economía.

4.4 Análisis de ruta

Para ir un paso más allá y comprender las interconexiones entre las diferentes cuentas, es necesario identificar y reconocer las vías por las cuales se transmiten los costos. En el modelo de precios, toda la red a través de la cual se transmite la influencia de un costo se puede identificar y especificar a través del aná-

lisis de ruta estructural. Al analizar los componentes estructurales aislados, se gana conocimiento sobre los mecanismos de transmisión de los precios y sus implicaciones para las políticas públicas y el bienestar.

El análisis de estas trayectorias es abordado y desarrollado como metodología en Defourny y Thorbecke (1984) y extendido en Roland-Holst y Sancho (1995). Este enfoque proporciona una forma alternativa y mucho más detallada de descomponer los multiplicadores, en comparación con el tratamiento tradicional de Stone (1981) y Pyatt y Round (1985) (descomposición aditiva y multiplicativa).

4.4.1 Influencia directa

Cada par $\langle i, j \rangle$ de índices en la Matriz de Contabilidad Social se define como un arco, un efecto del sector en el sector j . Una trayectoria o sendero será definido como una secuencia de índices $s = \langle i, k, l, \dots, m, j \rangle$, los cuales a su vez pueden siempre ser descompuestos en arcos: $\langle i, k \rangle, \langle k, l \rangle, \dots, \langle m, j \rangle$. Una trayectoria sin índices repetidos es llamada una trayectoria elemental. Una trayectoria que termine donde empezó es un circuito de influencia.

La influencia directa de los costos de la cuenta i en la cuenta j a través del arco $\langle i, j \rangle$ está determinada por el coeficiente a_{ji} .

$$I^D_{i \rightarrow j} = a_{ji}$$

La influencia de la cuenta i en la cuenta j a través de la trayectoria es denotada como $(i \rightarrow j)_s$. Debido a la estructura lineal del modelo, la influencia directa a través de una trayectoria elemental $s = \langle i, k, l, \dots, m, j \rangle$ es el efecto compuesto de los arcos contiguos que forman dicha trayectoria:

$$I^D_{i \rightarrow j} = a_{jn} \dots a_{mi}$$

La ruta elemental $p = (i, x, y, j)$ y tiene como influencia directa:

$$I^D_{i \rightarrow j_p} = I^D_{(i, x, y, j)} = a_{jy} a_{yx} a_{xi}$$

4.4.2 Influencia total

En particular, es probable que los sectores a lo largo de cualquier ruta elemental estén vinculados a otros sectores y otros caminos formando circuitos que amplifican de manera compleja la influencia directa de ese camino. Dada una ruta elemental $p = (i, \dots, j)$ con origen i y destino j , la influencia total es la influencia transmitida de i a j a lo largo de la ruta elemental p incluyendo todos los efectos indirectos dentro de la estructura imputable a esa ruta.

Tomando el ejemplo anterior donde $p = (i, x, y, j)$, la influencia total se define como la suma de todas las influencias directas que pueden existir en esta ruta, ya sea hacia adelante o hacia atrás, por ejemplo:

$I^D_{i \rightarrow x} = a_{xi}$, $I^D_{y \rightarrow x} = a_{xy}$, $I^D_{i \rightarrow y} = a_{xy} a_{xi}$, etc. Su fórmula se define de la siguiente manera:

$$I^T_{(i \rightarrow j)_p} = I^D_{(i \rightarrow j)_p} \mathbf{L}_p$$

Se puede ver fácilmente que el primer término en el lado derecho representa la influencia directa previamente definida $I^D_{i \rightarrow j_p}$ y el segundo término es el multiplicador de ruta $\mathbf{L}_p$, el cual captura la medi-

da en que la influencia directa a lo largo de la ruta p se amplifica a través de los efectos de los circuitos de retroalimentación adyacentes. El cálculo de este multiplicador de ruta se realiza obteniendo la razón entre dos determinantes Δ_p/Δ donde Δ_p es el determinante de la matriz $\mathbf{I} - \mathbf{A}_p$ a la cual se le han excluido todos los sectores pertenecientes a la ruta p , y Δ es el determinante de la matriz $\mathbf{I} - \mathbf{A}_n$ con todos los sectores incluidos.

Una forma alternativa de presentar el multiplicador de trayectoria es calcular su inverso, es decir, la relación entre la influencia directa y la influencia total $\mathbf{I}/\mathbf{L}_p = I^D_{(i \rightarrow j)_p} / I^T_{(i \rightarrow j)_p}$.

Esta relación muestra la proporción de la influencia total transmitida a lo largo de un camino elemental que se explica por los efectos inmediatos, es decir, la influencia directa. Este parámetro puede ser bastante relevante en un contexto de política al indicar en qué medida una inyección inicial en un sector determinado generará rápidamente, o sólo después de un largo período de tiempo, cualquier aumento en el precio de otros sectores de la estructura económica.

4.4.3 Influencia global

La influencia global del polo i al polo j simplemente mide los efectos totales sobre el precio del sector j como consecuencia del aumento de una unidad de costo en el sector i . Captura todos los efectos de una inyección exógena sobre un sector endógeno, el efecto global es el coeficiente m_{ji} de la inversa de Leontief $\mathbf{L}$.

$$I^G_{(i \rightarrow j)_p} = m_{ji}$$

Es importante esclarecer la diferencia entre la influencia global I^G y la influencia directa I^D . La última está ligada a una ruta elemental particular completamente aislada del resto de la estructura económica (i.e. asumiendo *ceteris paribus*). Captura lo que se puede llamar efecto inmediato de un sector sobre otro siguiendo esta ruta en particular. La influencia global difiere en que captura la influencia directa de todas las rutas elementales que unen a los polos extremos, y esto lo hace considerando la integralidad de la estructura de la economía, incluyendo efectos inducidos y de retroalimentación (Defourny y Thorbecke, 1984).

5. Resultados

5.1 Indicadores económicos intersectoriales

Los sectores con mayores multiplicadores hacia atrás se concentran en actividades de gobierno (93) con 2.64, industria alimentaria (311) con 2.61, fabricación de productos a base de minerales no metálicos (327) con 2.61, industria de la madera (321) con 2.60 y servicios educativos (61) con 2.57. Estos sectores son especialmente sensibles a cambios en la demanda final y tienen pocos efectos de difusión por lo que en su mayoría se catalogan como impulsores y claves, mientras que sus participaciones en el PBT son variadas. En cuanto a los sectores con mayores efectos hacia adelante se encuentran los servicios inmobiliarios y de alquiler (53) con 6.07, el comercio al por menor (461) con 5.44, la industria alimentaria (311) con 5.12, derivados del petróleo y el carbón (324-326) con 4.74 y transporte y almacenamiento (48-49) con 4.45.

El multiplicador de empuje del sector eléctrico agregado es de 2.56, encontrándose por encima de la media sectorial (2.30), mientras que el de arrastre con 2.14 se encuentra por debajo.

Esto lo clasifica como sector estratégico, sin embargo, no es demasiado relevante dentro de estos teniendo en cuenta sectores como servicios inmobiliarios, comercio al por menor y derivados del petróleo con altos multiplicadores hacia delante de más de 6 puntos.

En el cuadro 5 podemos ver que todos los subsectores eléctricos tienen multiplicadores hacia adelante y hacia atrás por debajo del promedio sectorial, clasificándose esta vez como independientes. Se destaca el ciclo combinado y las termoeléctricas convencionales con 1.59 y 1.22, mientras que las demás tecnologías no superan un multiplicador de 1.15. Las principales tecnologías productoras de electricidad tienden a impulsar más a otros sectores al comercializar un mayor volumen de energía, mientras que la poca presencia de las tecnologías renovables les impide influir significativamente sobre la economía con multiplicadores de sólo 1.01 y 1.04 para la energía solar y eólica respectivamente.

Cuadro 5. *Sectores productivos y tecnología de generación de electricidad por tecnología en México, sus efectos de dispersión y arrastre, sus índices de Rasmussen, y su clasificación*

Código SCIAN	Sector	Efecto de empuje	Efecto de arrastre	Sensibilidad de dispersión	Poder de dispersión	Clasificación
11	Agricultura, ganadería y pesca	3.53	2.38	1.53	1.03	Clave
21P	Minería petrolera	2.15	2.21	0.93	0.96	Independiente
2121	Minería de carbón mineral	1.25	2.27	0.54	0.99	Independiente
21NP	Minería no petrolera	1.47	2.31	0.64	1.00	Impulsor
22111-1	Ciclo Combinado	1.59	2.06	0.69	0.90	Independiente
22111-2	Carboeléctricas	1.10	2.03	0.48	0.88	Independiente
22111-3	Termoeléctricas Convencionales	1.22	2.23	0.53	0.97	Independiente
22112	Energía hidráulica	1.13	2.24	0.49	0.97	Independiente
22113	Energía solar	1.01	2.19	0.44	0.95	Independiente
22114	Energía eólica	1.04	2.21	0.45	0.96	Independiente
22119	Otro tipo de energía limpia	1.06	2.11	0.46	0.92	Independiente
2212	TDC de energía eléctrica	1.57	2.18	0.68	0.95	Independiente
222	Suministro de agua y gas	1.35	2.48	0.59	1.07	Impulsor
23	Construcción	1.53	2.43	0.66	1.05	Impulsor
311	Industria alimentaria	5.74	2.61	2.49	1.13	Clave
312	Industria de las bebidas y del tabaco	1.92	2.36	0.83	1.03	Impulsor
313-314	Fabricación de productos textiles	1.39	2.30	0.60	1.00	Independiente
315-316	Fabricación de prendas de vestir	1.51	2.32	0.65	1.01	Impulsor
321	Industria de la madera	1.28	2.60	0.56	1.13	Impulsor
322-323	Industrias del papel	1.75	2.25	0.76	0.98	Independiente
324-326	Derivados del petróleo e industrias petroquímica	6.02	2.15	2.61	0.93	Estratégico
327	Fabricación de productos no metálicos	1.45	2.61	0.63	1.13	Impulsor
331-332	Industrias metálicas	2.03	2.34	0.88	1.02	Impulsor
333-335	Maquinaria y equipo	1.86	1.65	0.81	0.72	Independiente
336	Fabricación de equipo de transporte	2.67	1.92	1.16	0.84	Estratégico
337	Fabricación de muebles	1.15	2.51	0.50	1.09	Impulsor

339	Otras industrias manufactureras	1.25	1.73	0.54	0.75	Independiente
43	Comercio al por mayor	3.63	2.22	1.57	0.96	Estratégico
46	Comercio al por menor	6.18	2.33	2.68	1.01	Clave
48-49	Transportes, correo y almacenamiento	5.05	2.30	2.19	1.00	Estratégico
51	Información en medios masivos	2.39	2.30	1.04	1.00	Estratégico
52	Servicios financieros y de seguros	4.03	2.49	1.75	1.08	Clave
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler	6.84	2.16	2.97	0.94	Estratégico
54	Servicios profesionales tecnocientíficos	2.41	2.44	1.04	1.06	Clave
55	Dirección de corporativos y empresas	1.48	2.33	0.64	1.01	Impulsor
56	Servicios de apoyo a los negocios	3.38	2.52	1.47	1.09	Clave
61	Servicios educativos	1.49	2.57	0.65	1.12	Impulsor
62	Servicios de salud y de asistencia social	1.49	2.56	0.65	1.11	Impulsor
71	Servicios de esparcimiento y recreativos	1.31	2.41	0.57	1.05	Impulsor
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	2.72	2.43	1.18	1.06	Clave
81	Otros servicios	2.36	2.37	1.02	1.03	Clave
93	Actividades del Gobierno	1.02	2.64	0.44	1.15	Impulsor
221	Sector eléctrico agregado	2.56	2.14	1.11	0.93	Estratégico
	Promedio	2.30	2.30	1.00	1.00	

Fuente: Modelos multisectoriales contruidos con la MSC (INEGI, 2018).

Los multiplicadores de arrastre son más fuertes para todas las tecnologías del sector eléctrico. La presente metodología de desagregación nos permite ver en particular cuáles tecnologías exactamente son responsables de los efectos sobre el resto de los sectores. Los subsectores de convencionales, hidráulica, solar y eólica presentan un indicador superior al del sector eléctrico agregado, demostrando su habilidad para propagar los beneficios de un aumento en su demanda final. Por otro lado, el ciclo combinado, carboeléctricas y otros tipos de energía limpia tienen un indicador menor.

Nótese que mientras que los multiplicadores de arrastre de cada tecnología de generación orbitan sobre el multiplicador agregado, los de empuje disminuyen precipitadamente una vez se desagrega el sector. Las compras de electricidad a cada una de las tecnologías de generación son mucho menores que cuando éstas se encuentran agregadas; su monto se ve disminuido dentro de la composición de compras del resto de sectores industriales, y por consecuencia su capacidad de empuje resulta disminuida. Esta situación ilustra muy bien el sesgo por agregación.

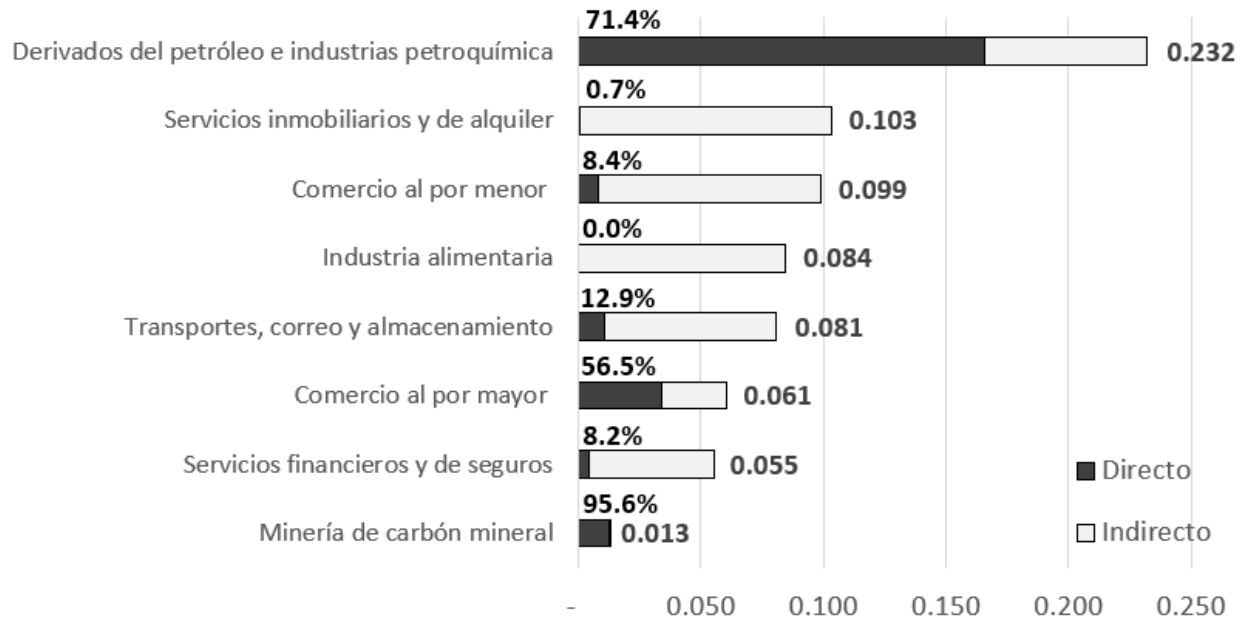
Este sesgo implica, además, que simular un shock de demanda final en el subsector de ciclo combinado o carboeléctrica, sobrerrepresentaría el impacto en la producción total de la economía; pero, al simular un shock de demanda final en el subsector termoeléctrico, hidráulico, solar o eólico, sub representaría el impacto en la producción total de la economía. La desagregación demuestra una mejor capacidad explicativa, principalmente para un sector tan heterogéneo como la generación de electricidad.

5.2 Impacto de los costos sobre los precios finales de la electricidad

Tras analizar las características del sector energético en el marco del sistema nacional productivo, es posible abordar los impactos que los costos de producción ejercen sobre los precios finales de la electricidad en el ámbito de la generación eléctrica. Estos impactos condicionan el desarrollo del proceso de generación y permiten identificar las vías a través de las cuales la industria muestra mayor sensibilidad frente a las variaciones de precios, así como el alcance de dichos efectos y la heterogeneidad existente entre los distintos tipos de tecnologías empleadas en la producción de electricidad.

Para ilustrar las repercusiones que pueden llegar a tener los costos asociados a energías primarias, la Gráfica 1 muestra los resultados del modelo de precios para un aumento del precio de los sectores de 324-326 (Derivados del petróleo e industria petroquímica) y 2121 (Minería de carbón mineral) dentro del contexto de los sectores con mayor impacto sobre el precio de la electricidad. Los efectos directos e indirectos se calculan con el coeficiente técnico de la matriz y su diferencia con el resultado en la matriz **A** de Leontief.

Gráfica 1. Impactos totales (valor absoluto) y directos (porcentaje) de los costos en los insumos sobre el precio de la energía eléctrica. (7 sectores con mayor multiplicador total y el sector minería de carbón).



Fuente: Modelos multisectoriales construidos con la MCS (INEGI, 2018).

Una variación de 100 pesos en el costo de los productos petroquímicos debido, por ejemplo, a un aumento del precio en concepto de combustible, diésel o gas natural en el mercado externo, provocarían un aumento de 23.2 pesos en el precio final de la electricidad en el mercado doméstico. La mayor parte del efecto (71%) ocurriría de manera directa, es decir, debido al consumo directo de combustibles fósiles

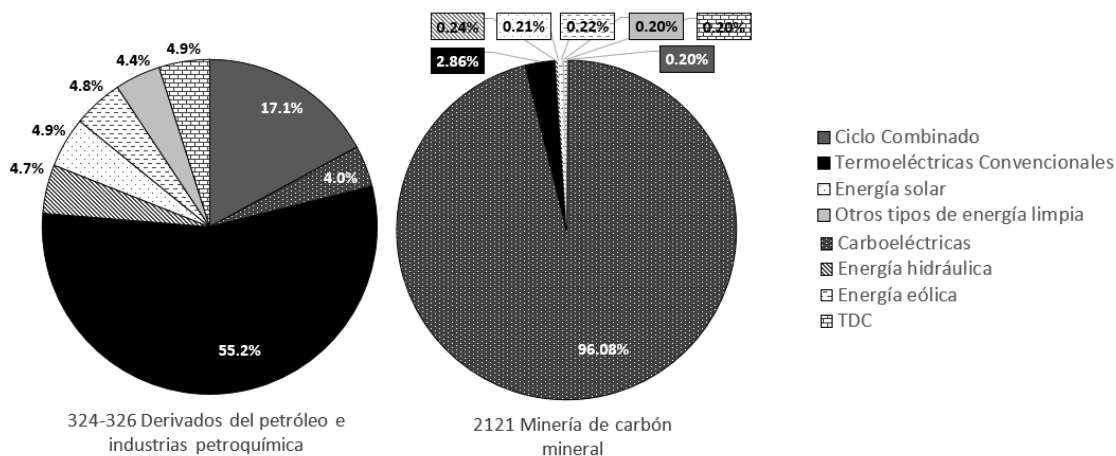
por parte de las plantas de generación. Dado este cambio en el mercado externo, la electricidad aumentaría en 16.4 pesos casi inmediatamente. La otra parte del efecto (29%) ocurre como efecto indirecto luego de todo el flujo económico que incluye el consumo de los hogares y una nueva demanda de electricidad generada por éstos y el resto de las actividades productivas.

Los demás insumos que mayormente afectan al sector eléctrico no son energéticos primarios sino costos principalmente logísticos, tales como los servicios inmobiliarios y de alquiler, así como el comercio al por menor, con afectaciones totales al precio final de la electricidad del 10.3 y 9.9 por ciento, respectivamente.

A nivel más desagregado, estos sectores resultan ser los que más afectan al precio final de la electricidad producida con tecnologías limpias como la solar, eólica e hidráulica. La sensibilidad a estos insumos, como se puede observar, no llega a la mitad del impacto producido por los combustibles fósiles y se refleja, a diferencia de éstos, de forma más indirecta sobre el precio de la electricidad, es decir, dispersa a través del tiempo. Aun así, el impacto de los servicios inmobiliarios sobre las tecnologías limpias ronda los 14 pesos por cada 100 de choque externo, 13 pesos para el caso del comercio al por menor, 11 pesos para la industria alimentaria y 10 pesos para el transporte. El resto de los sectores tiene un impacto menor a los 10 pesos. Este resultado, unido a que las importaciones acumuladas en todas las tecnologías limpias son menos del 8 por ciento del total de compras extranjeras, presenta a estas alternativas de generación eléctrica como sectores altamente independientes del mercado externo y con potencialidad de disminuir la vulnerabilidad del país en materia de seguridad energética.

Para el caso de la minería de carbón mineral se tiene un multiplicador bastante menor (1.3 pesos en el precio final de la electricidad por cambio de 100 pesos en el costo del carbón), pero donde casi la totalidad de la afectación ocurre de manera directa, indicando una dependencia con este insumo del sector eléctrico y particularmente, como se verá enseguida, de la generación de electricidad a través de carboeléctricas.

Gráfica 2. Afectación de los insumos primarios a cada tecnología de generación eléctrica (Porcentaje).



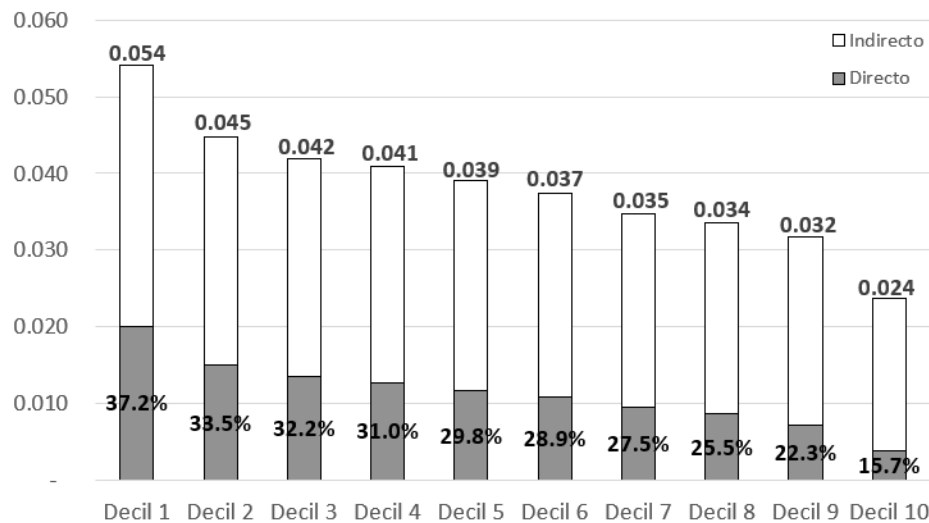
Fuente: Modelos multisectoriales construidos con la MCS (INEGI, 2018).

La desagregación en tecnologías de generación nos permite saber cuáles son aquellas responsables de la dependencia a insumos fósiles. En la Gráfica 2 se detallan las afectaciones, expresadas en porcentajes, de estos dos sectores hacia cada tecnología de generación. Los impactos ante una variación

de los costos en la industria petroquímica ocurren principalmente en las tecnologías que la utilizan como energía primaria. De los 23.2 pesos de efecto total, 55.2% (12.8 pesos) se deberían al uso de los insumos fósiles por parte de las termoeléctricas convencionales y 17.1% (3.9 pesos) por las centrales de ciclo combinado.

La afectación hacia el resto de las tecnologías de generación es menor; de manera agregada agrupan un 18.8% (4.36 pesos). Las carboeléctricas son las menos afectadas con sólo cuatro puntos porcentuales (92 centavos) del aumento en el precio de la electricidad. Por el contrario, si se visualiza la gráfica correspondiente a la minería de carbón mineral, las carboeléctricas constituyen, con un 96.1%, casi la totalidad del destino de las variaciones en los costos de este sector. Esta tecnología por sí sola es responsable de la sensibilidad del sector eléctrico a los precios del carbón.

Gráfica 5.3 México, 2018. *Distribución de la influencia de precios de la electricidad sobre los hogares por decil de ingreso (efecto total en valores absolutos y por ciento del efecto directo).*



Fuente: Modelos multisectoriales construidos con la MCS (INEGI, 2018).

Por otro lado, el aumento de precios en la electricidad no sólo impacta sobre el sector industrial, por el contrario, el consumo residencial de los hogares representa gran parte de la demanda eléctrica con un 23% del gasto en electricidad total del país. Al analizar los impactos que tiene un aumento del precio de la electricidad sobre el consumo de los hogares (véase Gráfica 2), se puede advertir que tanto el efecto global como el efecto directo son más fuertes para aquellos deciles de menores ingresos. Por cada variación unitaria del precio de la electricidad el consumo del hogar se ve afectado de 5.4 (decil 1) a 2.4 (decil 10) centavos por unidad de energía eléctrica. El efecto directo también disminuye de 1.9 a 0.3 centavos y el efecto total entre el sector eléctrico y los hogares va del 37.2% del efecto global hasta el 15.7%.

El encarecimiento de la electricidad tiene un impacto global regresivo en el sentido de que recae con mayor fuerza sobre los deciles bajos. Se afecta el consumo y el bolsillo de manera más significativa para un hogar de bajos ingresos que para uno de altas remuneraciones. Además, el efecto ocurre más

rápido en los hogares pobres y se tarda más hacia los ricos debido a que el efecto directo es menor tanto de forma absoluta como en proporción del efecto global.

Estos resultados se pueden dar en su interpretación dual. El efecto positivo de la transición a fuentes renovables de energía en el precio final de la electricidad se expresa como una contribución a los hogares más pobres. En este caso tenemos que el gasto en electricidad disminuiría de forma progresiva a través de la distribución del ingreso tal y como muestra la misma Gráfica 2. Los mismos resultados se pueden interpretar como los pesos que se ahorra cada decil por cada peso que se abarate el precio de la electricidad, además de que este efecto llegaría más rápidamente a los deciles inferiores.

5.3 Rutas de afectación

Los impactos del aumento en los costos de energías primarias fósiles no solamente afectan al precio final de la electricidad. Mediante las interrelaciones sectoriales el precio de energía eléctrica termina por afectar otros sectores. Con el análisis de ruta se pueden identificar los subsectores específicamente responsables de los cambios de ingreso provenientes de la generación de electricidad.

En el cuadro 6 se muestran respectivamente los sectores origen y destino, la trayectoria de la afectación (es decir, la vía por la cual influyen los costos sobre los precios), el efecto global, el efecto directo, el efecto total (resultado del efecto directo por el multiplicador de senda), el multiplicador de senda (describe el resultado de todas las interacciones que ocurren entre los sectores incluidos en la trayectoria), y por último, el porcentaje que representa el efecto total sobre el global. TC corresponde a la tecnología de Termoeléctricas Convencionales, CC a Ciclo Combinado y C a Carboeléctricas.

La primera serie de resultados corresponde al incremento de los costos en el sector petroquímico y su efecto sobre el sector de suministro de gas y agua por ductos. En la primera línea se describe la trayectoria directa entre éstos. La afectación global fue de 0.116 pesos por aumento unitario en las energías primarias, sin embargo, la afectación por compras directas del sector 222 al 324-326 fue de 0.011 pesos, y su interacción total entre ellos de 0.013, lo que representa solamente el 11.4% de toda la afectación.

Se puede ver que un 12.1% del efecto proviene por vía de las centrales de ciclo combinado y hasta un 17.7% desde las termoeléctricas convencionales. Las tecnologías limpias, así como las carboeléctricas — que no fueron incluidas en la tabla de resultados — contribuyen entre todas apenas en un 0.1%, principalmente porque no utilizan como insumo primario los productos de la industria petroquímica.

Cuadro 6. México, 2018. *Descomposición de ruta de la influencia de precios de las energías primarias a los sectores más afectados a través de la generación eléctrica*

Incremento de costos del sector i	Efecto del precio en el destino j	Trayectoria	Global	Directo	Total	%T/G
Derivados del petróleo e industrias petroquímica	Suministro de agua y gas		0.116	0.011	0.013	11.4%
		Termoeléctrica Convencional		0.018	0.021	17.7%
		Ciclo Combinado		0.012	0.014	12.1%
Derivados del petróleo e industrias petroquímica	Fabricación de productos no metálicos		0.118	0.025	0.032	26.9%
		Termoeléctrica Convencional		0.008	0.010	8.6%
		Ciclo Combinado		0.005	0.007	5.9%
Minería de carbón mineral	Suministro de agua y gas		0.003	-	-	0.0%
		Carboeléctrica		0.002	0.002	79.7%
		Termoeléctrica Convencional		0.000	0.000	4.6%
Minería de carbón mineral	Fabricación de productos no metálicos		0.002	0.000	0.000	1.6%
		Carboeléctrica		0.001	0.001	65.8%
		Termoeléctrica Convencional		0.000	0.000	3.8%

Fuente: Modelos multisectoriales contruidos con la MCS (INEGI, 2018).

La afectación del aumento del precio de derivados del petróleo sobre el suministro de gas y agua al consumidor final se debe, hasta en un 29.8%, al incremento del precio del gas, insumo estratégico en la generación eléctrica en plantas de ciclo combinado y termoeléctricas convencionales. Algo similar sucede cuando se eleva el precio del carbón mineral en la minería. La consecuencia en nuestro modelo sería que el precio de la electricidad producida por las carboeléctricas se dispararía hasta un 79.7%. Este caso, el suministro de gas y agua por ducto no se ve afectado directamente por las variaciones del precio del carbón.

¿Cómo impactaría el encarecimiento de los combustibles fósiles sobre los costos de la fabricación de productos a base de minerales no metálicos? Si la electricidad es abastecida por termoeléctricas convencionales y centrales de ciclo combinado, su costo se elevaría un 14.5%. Si

el abasto lo realizan las carboeléctricas, se incrementarían hasta en un 65.8%. De esta variación, solamente el 1.6% es provocada por la interacción directa entre esta industria (minerales no metálicos) y la minería de carbón mineral.

Esto significa que casi un tercio del aumento en el precio de productos de origen no metálico (como el vidrio, la arcilla y el cemento) provocado por el encarecimiento de la electricidad generada en carboeléctricas, puede evitarse si la producción de electricidad es reemplazada por cualquier otra tecnología. Si además la energía fuera generada a través de tecnologías limpias, se evitarían casi un 15% del aumento de precios en el fluido eléctrico provocado por el encarecimiento de combustibles fósiles como el combustóleo y el gas natural. Bajo una matriz de generación más limpia, la economía en general, y no sólo el sector eléctrico, es menos vulnerable a los vaivenes del mercado energético internacional.

6. Conclusiones

La industria eléctrica mexicana está caracterizada por una gran dependencia de insumos de energía primaria, la cual es suplida en gran medida por combustibles fósiles importados. El precio de estos insumos es controlado por el mercado mundial que en últimos años se ha visto irregular, provocando incertidumbre e inestabilidad en el sector energético mexicano. Para garantizar el correcto funcionamiento de la producción eléctrica, el gobierno compensa la variabilidad de precios a través de subsidios, estableciendo una dura carga fiscal sobre los recursos federales.

El precio de la electricidad en México depende en forma crítica de las energías primarias fósiles; ningún otro insumo impacta siquiera en la mitad como éste lo hace. Y esto ocurre en las tecnologías de generación más contaminantes, mientras que la generación alternativa por medio de renovables se ve poco afectada por estos vaivenes. Superar estas dificultades, requiere un cambio estructural de la industria eléctrica. El fluido eléctrico es un insumo y servicio transversal a todas las industrias y sectores institucionales de la economía mexicana. Las consecuencias económicas y ambientales de sostener una generación eléctrica tan dependiente de los combustibles fósiles repercute en todos los sectores productivos del país, en especial en la manufactura, base de la demanda energética del país, pero también en el gasto y bienestar de los hogares. En este último posee un efecto regresivo afectando con mayor intensidad e inmediatez a los estratos más bajos del ingreso.

En promedio, el 23% de los costos de los sectores en electricidad son causados mediante las tecnologías que dependen de combustibles fósiles: termoeléctricas convencionales, centrales de ciclo combinado y carboeléctricas. Un cambio de paradigma podría superar esta dependencia y garantizar un precio más bajo en la electricidad. La transición energética hacia tecnologías limpias es, por tanto, una necesidad no solamente desde un punto de vista ambiental, como se ha planteado en la mayor parte de la literatura, sino un imperativo económico central en la estrategia de desarrollo de México, con el potencial de aportar un triple dividendo a sus ciudadanos: menos contaminación atmosférica, precios de electricidad más baratos y mayor seguridad energética para el país.

La definición de seguridad energética utilizada en la presente investigación, en el contexto del sector eléctrico, se centra en dos aspectos: la producción de electricidad nacional y su precio final. Los

beneficios de la transición energética para estos aspectos no suelen ser abordados con profundidad en la literatura insumo-producto, sino que se concentran en la contabilidad de emisiones contaminantes. Sin embargo, el modelo de precios en matrices de contabilidad social sirve de herramienta para simular choques externos al sector eléctrico a través de sus importaciones, especialmente en los insumos de combustibles fósiles. Los resultados de esta simulación evidencian los impactos negativos que pudiera tener este choque externo dada la composición de generación eléctrica de México y sugieren cómo la transición a energías limpias pudiera evitar esos efectos. De esta manera, dicha metodología y los resultados obtenidos responden directamente a la problemática de la seguridad energética y, un poco más allá, sobre el bienestar general de la economía.

El debate sobre la generación eléctrica debe ponerse sobre la mesa hoy en día más que nunca. En aras de cumplir con las metas establecidas para las energías limpias y además con el objetivo de abaratar el precio de la electricidad, es necesario analizar en profundidad el rumbo que pudiera tomar el sector si se continúa con las políticas vigentes.

La herramienta analítica presentada representa un avance significativo en el estudio del sector eléctrico. Al desagregarlo en distintas tecnologías de generación con estructuras de producción diversas, se obtienen resultados más precisos y se evita el sesgo que surge de su agregación general. Esta aportación es importante por la heterogeneidad de las funciones de producción de esa industria, y aporta un nivel de análisis revelador fundamental para evaluar al interior del sector eléctrico y adicionalmente su interacción con el resto de la economía. Con base en el conocimiento de los autores del presente trabajo, ningún estudio sobre el sector eléctrico mexicano incorpora una desagregación como ésta para matrices de contabilidad social.

Por último, es preciso mencionar que el presente estudio puede ser de utilidad como base en la construcción de un modelo de Equilibrio General Computable (EGC). La utilización de una Matriz de Contabilidad Social en la construcción de EGC ofrece un marco robusto y coherente que facilita la calibración, validación y realización de estos modelos. Su uso mejora significativamente la precisión, relevancia y capacidad del análisis, por lo que puede considerarse como un paso inmediatamente anterior a la construcción del modelo EGC. Por tanto, esta Matriz de Contabilidad Social aporta en este sentido y exhorta implícitamente a realizar investigaciones acerca del sector eléctrico, usándola como base para modelos más avanzados y que puedan aportar resultados más valiosos a una discusión tan relevante como ésta.

Referencias

- Bravo Pérez, H., J. C. Castro Ramírez, M. A. Gutiérrez Andrade, y E. P. Omaña Pulido. 2017. "Evaluación de una política de sustitución de energías fósiles para reducir las emisiones de carbono". *El Trimestre Económico*, 84(333): 137-164. DOI: 10.20430/ete.v84i333.265
- Cardenete, M. A., P. D. Fuentes Saguar y C. Polo. 2008. "Análisis de intensidades energéticas y emisiones de CO₂ a partir de la matriz de contabilidad social de Andalucía del año 2000". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 8(2): 31-48. DOI: 10.22004/ag.econ.57232
- Centro Nacional de Control de Energía [CENACE]. 2018. "Programa de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución". *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional* [PRODESEN]. https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaR-NT_RDG.aspx

- Černý, M., M. Bruckner, J. Weinzettel, K. Wiebe, C. Kimmich, C. Kerschner y K. Hubacek. 2021. "Employment effects of the renewable energy transition in the electricity sector: An input-output approach". *ETUI Research Paper-Working Papers* (2021.14). DOI: 10.2139/ssrn.4013339
- Chapa, J. y A. Ortega. 2017. "Identifying the main emitters of carbon dioxide in Mexico: a multi-sectoral study. *Journal of the Latin American and Caribbean Economic Association*, 17(2): 135-172. DOI: 10.31389/eco.69
- COPAR. 2015. Costos y Parámetros de Referencia para Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico, COPAR Generación Edición 35. Comisión Federal de Electricidad. Subdirección de Programación Coordinación de Evaluación.
- Cruz, L. M. G. 2002. "Energy-environment-economy interactions: An input-output approach applied to the Portuguese case". Paper for the 7th biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, 'Environment and Development: Globalisation and the Challenges for Local and International Governance', Sousse (Tunisia), March 6-9, 2002. https://www.academia.edu/download/55770757/2002_cruz_energy.pdf
- Dávila Flores, A. 2019. *Modelos económicos de las regiones de México*. México: Miguel Ángel Porrúa; Universidad Autónoma de Coahuila.
- Defourny, J. y E. Thorbecke. 1984. "Structural path analysis and multiplier decomposition within a social accounting matrix framework". *The Economic Journal*, 94(373): 111-136. DOI: 10.2307/2232220
- Dhakal, S., J. C. Minx, F. L. Toth, A. Abdel-Aziz, M. J. Figueroa Meza, K. Hubacek, et al. 2022. "Emissions trends and drivers (chapter 2)". En: A. R. Shukla, J. Skea, R. Slade et al. (eds.). *Intergovernmental Panel on Climate Change. (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: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781009157926.004
- Escribano, G. 2006. "Seguridad energética: concepto, escenarios e implicaciones para España y la UE". *Boletín Elcano*, (DT 33/2006). <https://media.realinstitutoelcano.org/wp-content/uploads/2022/01/33-2006-escribano-seguridad-energetica.pdf>
- Freire-González, J. 2018. "Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review". *Journal of Policy Modeling*, 40(1): 194-223. DOI: 10.1016/j.jpolmod.2017.11.002
- Friedrich, J., M. Ge, A. Pickens y L. Vigna. 3 de Marzo de 2023. *This interactive chart shows changes in the world's top 10 emitters*. Washington, DC: World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>
- Fuentes, N. A., y M. Sastré Gutiérrez. 2001. "Identificación empírica de sectores clave de la economía sudbajacaliforniana". *Frontera Norte*, 13(26): 51-76. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722001000200003&script=sci_arttext
- Garrett-Peltier, H. 2016. "Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model". *Economic Modelling*, 61: 439-447. DOI: 10.1016/j.econmod.2016.11.012
- Gutiérrez Alonso, Y. A. 2022. "Modelo multisectorial basado en Matrices de Contabilidad Social para el análisis económico y ambiental del Sector Eléctrico en México". Centro de Investigaciones Socioeconómicas.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. 2018. *Matrices de contabilidad social de México*. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/investigacion/mcsm/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. 2021. *Censos económicos 2019*. Aguascalientes: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Tabulados>
- Kymn, K. O. 1990. "Aggregation in input-output models: a comprehensive review, 1946–71". *Economic Systems Research*, 2(1): 65-93. DOI: 10.1080/09535319000000008
- Lenzen, M. 2011. "Aggregation versus disaggregation in input-output analysis of the environment". *Economic Systems Research*, 23(1): 73-89. DOI: 10.1080/09535314.2010.548793
- Lenzen, M., B. Gallego y R. Wood. 2009. "Matrix balancing under conflicting information". *Economic Systems Research*, 21(1): 23-44. DOI: 10.1080/09535310802688661
- Lindner, S., J. Legault y D. Guan. 2012. "Disaggregating input-output models with incomplete information". *Economic Systems Research*, 24(4): 329-347. DOI: 10.1080/09535314.2012.689954
- Lindner, S., J. Legault y D. Guan. 2013. "Disaggregating the electricity sector of China's input-output table for improved environmental life-cycle assessment". *Economic Systems Research*, 25(3): 300-320. DOI: 10.1080/09535314.2012.746646
- Llop, M. y A. Manresa. 2014. "Comparing the aggregation bias in the input-output model and the social accounting matrix model". *Applied Economics Letters*, 21(11): 795-800. DOI: 10.1080/13504851.2014.892189
- Manresa, A., y F. Sancho. 2004. "Energy intensities and CO2 emissions in Catalonia: a SAM analysis". *International Journal of Environment, Workplace and Employment*, 1(1): 91-106. DOI: 10.1504/IJEWE.2004.005606
- Miller, R. E., y P. D. Blair. 2009. *Input-output analysis: foundations and extensions*. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press. www.cambridge.org/9780521739023
- Moosavian, S. F., R., Zahedi, and A. Hajinezhad. 2022. "Economic, environmental and social impact of carbon tax for Iran: a computable general equilibrium analysis". *Energy Science and Engineering*, 10(1): 13-29. DOI: 10.1002/ese3.1005
- Moreno, B., M. T. García-Álvarez, C. Ramos y E. Fernández-Vázquez. 2014. "A General Maximum Entropy Econometric approach to model industrial electricity prices in Spain: A challenge for the competitiveness". *Applied Energy*, 135: 815-824. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.04.060
- Observatorio de la Transición Energética de México [OBTREN]. 2022. *Observatorio de transición energética*. <https://obtren.org/>
- Oosterhaven, J. 1996. "Leontief versus Ghoshian price and quantity models". *Southern Economic Journal*, 62(3): 750-759. DOI: 10.2307/1060892
- Ortiz, B. L. 2011. "Análisis de requerimientos de energía con la metodología insumo-producto para el caso mexicano 1971-2007". *Economía Informa*, (371): 43-51. <https://www.academia.edu/download/8061492/04benjamin.pdf>
- Peters, J. C. y T. W. Hertel. 2016. "Matrix balancing with unknown total costs: preserving economic relationships in the electric power sector". *Economic Systems Research*, 28(1): 1-20. DOI: 10.1080/09535314.2015.1124068
- Presidencia de la República. 2025. "Decreto por el que se expiden la Ley de la Empresa Pública del Estado, Comisión Federal de Electricidad; la Ley de la Empresa Pública del Estado, Petróleos Mexicanos; la Ley del Sector Eléctrico; la Ley del Sector Hidrocarburos; la Ley de Planeación y Transición

- Energética; la Ley de Biocombustibles; la Ley de Geotermia y, la Ley de la Comisión Nacional de Energía; se reforman diversas disposiciones de la Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo y, se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal”. *Diario Oficial de la Federación*: 18/03/2025. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5752329&fecha=18/03/2025
- Pyatt, G. y J. I. Round (eds.). 1985. *Social accounting matrices: a basis for planning*. Washington, DC: The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/919371468765880931/pdf/multi-page.pdf>
- Rahma, L., D. Hartono y S. H. Hastuti. 2025. “Carbon-tax implementation in Indonesia: a social accounting matrix analysis”. *Sustainability: Science, Practice and Policy*. 21(1): 2454061. DOI: 10.1080/15487733.2025.2454061
- Rasmussen, N. P. 1956. *Studies in inter-sectoral relations* (pp. 115-117). Amsterdam: E. Harck.
- Rodríguez Padilla, V. 2018. “Seguridad energética. Análisis y evaluación del caso de México.” *Estudios y Perspectivas*, (44366). <https://ideas.repec.org/p/ecr/col031/44366.html>
- Roland-Holst, D. W. y F. Sancho. 1995. “Modeling prices in a SAM structure”. *The Review of Economics and Statistics*, 77(2): 361-371. DOI: 10.2307/2109871
- Ruiz Nápoles, P. 2012. *Low carbon development strategy for Mexico: an input-output analysis. Final report*. México: United Nations Environment Programme; Agence Française de Développement; Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Ruiz-Napoles-2/publication/313023363_Low_carbon_strategy_for_Mexico/links/588cc1d6a6fdcc8e63c97e9a/Low-carbon-strategy-for-Mexico.pdf
- Santillán Vera, M., A. de la Vega Navarro y J. Islas Samperio. 2021. “Climate change and income inequality: An I-O analysis of the structure and intensity of the GHG emissions in Mexican households”. *Energy for Sustainable Development*, 60: 15–25. DOI: 10.1016/j.esd.2020.11.002
- Secretaría de Energía. 2014. “Decreto por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales”. *Diario Oficial de la Federación*: 11/08/2014. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014
- Secretaría de Energía. 2020. *Informe pormenorizado sobre el desempeño y las tendencias de la industria eléctrica nacional*. México: Secretaría de Energía. <https://www.gob.mx/sener/documentos/informe-pormenorizado-sobre-el-desempeno-y-las-tendencias-de-la-industria-electrica-nacional>
- Stone, R. 1981. *Aspects of economic and social modelling*. Genève: Droz. (*Conférences Luigi Solari*, 1)
- Sun, D., Y. Y. Liu, X. W. Yang, L. Q. Lyu y J. H. Yuan. 2022. “Economic and employment effects of China’s power transition based on input-output and scenario simulation”. *Advances in Climate Change Research*, 13(5): 721-728. DOI: 10.1016/j.accre.2022.09.001
- Topcuoğlu, A. & I. O. Oral. 2020. “Importance of energy for industries and role of the energy sector in Turkey’s economy”. En: H. Quadrat-Ullah y M. Asif (eds.). *Dynamics of energy, environment and economy* (pp. 39-63). Cham: Springer. (*Lecture notes in energy*, 77). DOI: 10.1007/978-3-030-43578-3_3
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. 2023. *Outcome of the first global stocktake. Draft decision -/CMA.5. Proposal by the President of the Parties to the Paris Agreement*. Bonn: UNFCCC. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_L17_adv.pdf
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. 2024. *United Arab Emirates dialogue on implementing the global stocktake outcomes. Draft decision -/CMA.6*. Bonn: UNFCCC.



https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2024_L21E.pdf?download

- Vaca Serrano, J. M. E. y A. Kido Cruz. 2021. "Estrategia de eficiencia en el consumo de energía eléctrica y mitigación en la estructura productiva de México". *Contaduría y Administración*, 66(2): 1-22. DOI: 10.22201/fca.24488410e.2021.2487
- Vaca, J., G. Núñez, y A. Kido. 2019. "Análisis multisectorial del incremento de precios de la electricidad en la economía de México". *Problemas del Desarrollo*, 167-189. DOI: 10.22201/iiec.20078951e.2019.196.64775
- van Leeuwen, E. S. 2010. "Town-Hinterland relations: A social accounting matrix approach". En *Urban-rural interactions: Towns as focus points in rural development*, (pp. 79-113). Heidelberg: Physica-Verlag HD. (*Contributions to economics*) DOI: 10.1007/978-3-7908-2407-0_5
- Wolsky, A. M. 1984. "Disaggregating input-output models". *The Review of Economics and Statistics*, 66(2): 283-291. DOI: 10.2307/1925829