
Del carbón a las renovables: Análisis económico para la transición eléctrica en México

Alejandro Dávila Flores y Miriam Valdés Ibarra



Referencia: Dávila Flores, A., Valdés Ibarra, M.* (2021). *Del carbón a las renovables: Análisis económico para la transición eléctrica en México*. Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila y WWF México.

Fecha: Marzo de 2021

* Investigadores Nacionales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, adscritos al Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Este trabajo se desarrolló con el apoyo financiero del Reino Unido (UK), ICF Technical Assistance Programme, a través del Programa Partnering for Accelerated Climate Transition (PACT). Los resultados y contenidos no reflejan las opiniones del Gobierno del Reino Unido (UK) y su embajada en México.

Agradecemos la colaboración de Ylzel Areli Gutiérrez Alonso, estudiante de doctorado en Economía Regional de la Universidad Autónoma de Coahuila y del Dr. José Antonio Rojas Nieto, investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México.

ÍNDICE

Resumen ejecutivo.....	4
Antecedentes y justificación.....	6
Oferta y demanda de carbón en México.....	9
Capacidad instalada y generación de electricidad en Coahuila.....	12
Oferta y demanda nacional de la generación de electricidad en Coahuila.....	13
Impactos económicos del cierre de las carboeléctricas existentes en México.....	16
1. <i>Impactos en los grandes agregados económicos.....</i>	<i>16</i>
2. <i>Impactos sectoriales en la producción, el empleo, el valor agregado, el ingreso de los hogares y el consumo privado.....</i>	<i>18</i>
Estrategias de reestructuración productiva basadas en la plataforma de agrupamientos económicos....	24
Conclusiones.....	30
Referencias.....	33

Resumen ejecutivo

La rápida descarbonización del transporte y las industrias de la energía son indispensables para alcanzar las metas de reducción de gases de efecto invernadero asumidas por México ante la COP21. En el caso del sector eléctrico, se requiere impulsar una transición desde las tecnologías de generación basadas en combustibles fósiles, hacia alternativas limpias y renovables. México estableció compromisos específicos ante la comunidad internacional, de los cuales se desprende la sustitución de las centrales eléctricas que operan con carbón.

En este documento se utilizan modelos económicos regionales multisectoriales para analizar las repercusiones del cierre de las tres plantas carboeléctricas existentes en el país. De igual forma, se revisa el avance en la generación de energía eólica y solar, mostrando su viabilidad económica y técnica para el reemplazo de la generación a base de carbón. Asimismo, se formulan estrategias de reestructuración y diversificación económica, destinadas a compensar las consecuencias en las regiones afectadas, especialmente en el noreste de Coahuila, sede de dos de las tres plantas carboeléctricas que operan en México y región en la cual se produce el 99% del carbón mineral del país.

En 2018 se registró una demanda de carbón valorada en 18,061 millones de pesos, que se distribuyó de la siguiente forma: ventas de carbón para generar electricidad (45.2%), ventas destinadas a la fabricación de coque para los procesos de producción de acero (43.2%), ventas para la industria petroquímica (10.2%) y el 1% restante consumido al interior de la propia actividad. El valor de la producción de carbón mineral mostró una tendencia claramente ascendente entre el 2003 y el 2014, año en el cual alcanzó su nivel máximo (20,199 millones de pesos).

Sin embargo, entre esta fecha y el 2019, perdió más de una cuarta parte de su valor (-27%), registrando en 2019 un valor de 14,740 millones de pesos. En lo referente a empleos formales, en 2011 se registró el mayor número de puestos de trabajo (9,487), mientras que para 2019 se habían reducido a 6,422.

El reporte muestra también información sobre la capacidad instalada de generación de electricidad en el estado de Coahuila en 2018. De los 4,902 MW generados, poco más de la mitad corresponden a las plantas carboeléctricas Carbón II y Río Escondido (53%), el 17.3% a las centrales solares fotovoltaicas, el 11.7% a las centrales de ciclo combinado, el 8.1% a las eólicas y el 9.8% restante se distribuye entre plantas de turbogás, termoeléctrica convencional, combustión interna, hidráulica, bioenergía y cogeneración.

Como parte del análisis, se propone una estrategia de tres fases para la salida del uso del carbón en la generación eléctrica:

1 Retiro de la planta de Río Escondido al término de su vida útil, que será a finales del 2022

2 A partir del 2023, salida gradual de las siete unidades disponibles en Petacalco (una cada año)

3 Concluir el proceso con el cierre de la planta denominada Carbón II, en el año 2029

Esta senda de transición permitiría, simultáneamente, alcanzar un porcentaje elevado de amortización del capital de las plantas de carbón y brindar el espacio temporal para impulsar los programas de reestructuración productiva en las regiones involucradas. Referente a los impactos económicos del cierre de las carboeléctricas, encontramos que en términos de los grandes agregados económicos -valor de la producción bruta (PB), producto interno bruto (PIB) e ingreso disponible de los hogares (IH)- los impactos parecen moderados. Por el contrario, las consecuencias en el sector de minería de carbón y generación de electricidad son mucho mayores, especialmente en las regiones carbonífera y en el norte del estado de Coahuila, en donde se concentran estas actividades.

Sin embargo, la suspensión de actividades en las tres carboeléctricas produciría la cancelación de 12,565 empleos a nivel nacional, 5,064 en el estado de Coahuila y 7,501 en las 31 entidades federativas restantes. Estos impactos, además, afectan en mayor proporción a los tres grupos de menores ingresos y al decil de ingresos superiores. Menores niveles de ingreso disponible en los hogares se traducen en disminuciones en el consumo, ahorro y pago de impuestos.

El cierre de actividades de las plantas de generación eléctrica en base a carbón tiene efectos sectoriales y territoriales muy pronunciados en el estado de Coahuila, afectando de forma sustancial a los municipios de Nava, San Juan de Sabinas, Múzquiz, Sabinas, Juárez, Progreso y Piedras Negras. Con la finalidad de minimizar dichos impactos, se proponen cinco estrategias para facilitar la reestructuración económica de la región noreste del estado de Coahuila:

1 Impulsar las energías renovables y sus encadenamientos productivos en el noreste de Coahuila

2 Promover la conformación del *cluster* del carbón y articular políticas de mejora en la competitividad basadas en las innovaciones productivas, fortaleciendo sus encadenamientos con la industria siderúrgica y diversificando sus mercados

3 Diversificar la estructura productiva de la región noreste de Coahuila estructurando y fortaleciendo los agrupamientos económicos con presencia en la zona

4 Alentar programas de desarrollo de proveedores en las empresas ancla del noreste de Coahuila

5 Promover el desarrollo de la agricultura altamente tecnificada en ambientes controlados y los encadenamientos del sector primario con las agroindustrias

Estas estrategias para diversificar las actividades productivas de la región deben estar enfocadas en alentar la inversión, estimular políticas de sustitución de importaciones e impulsar la productividad en las actividades económicas con potencial de crecimiento en los sectores de energías renovables, metalmecánico, electrónica y textil. Adicionalmente, las estrategias deberán de ser cuidadosamente planeadas e instrumentadas, con una participación transparente y respetuosa de los distintos actores involucrados.

Antecedentes y justificación

Como parte de los compromisos asumidos por México en la **Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21)**, celebrada en París en el 2015, nuestro país se comprometió a reducir en el año 2030, respecto a la línea base, en un 22% sus emisiones de gases de efecto invernadero y en un 51% las de carbono negro. Consecuentemente, la **Ley de Transición Energética (LTE)** estableció, en su transitorio tercero, cuatro metas escalonadas en el tiempo para incrementar la participación de las energías limpias en la generación de electricidad: 25% en 2018; 30% en 2021, 35% en 2024 y 43% en el 2030. Al 2018, el 23.2% de la generación total de electricidad provenía de fuentes limpias (Secretaría de Energía –Sener–, 2018).

En el 2017, México se unió a la **Alianza Global para la Eliminación Progresiva del Carbón**, comprometiéndose a reducir gradualmente su uso para la generación de electricidad. Un año después, en la COP24 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), se

adoptó la Declaración de Silesia, reconociendo la importancia de las políticas de solidaridad y justicia para facilitar la transición energética a tecnologías de bajas emisiones. Posteriormente, en septiembre del 2019, México se unió a la **Iniciativa de Acción Climática para el Empleo**, comprometiéndose a impulsar políticas justas de transición energética.

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2015 reporta que México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO_{2e}) de gases de efecto invernadero (GEI) (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático –INECC–, 2018). Las emisiones netas ascendieron a 535 MtCO_{2e} , pues las absorciones de la vegetación se calcularon en 148 MtCO_{2e} , siendo el transporte (emisiones de 171 MtCO_{2e} , 25.1% del total) y las industrias de la energía (165 MtCO_{2e} , 24.2% del total) las principales fuentes de emisión¹.

Al 31 de diciembre del 2018, la capacidad instalada efectiva de generación de electricidad en México alcanzó 70,053 megawatts (MW^2). Un 7.7% de la

¹La Comisión Reguladora de Energía (CRE) publica cálculos de emisiones de GEI basados el factor de emisiones del Sistema Eléctrico Nacional (https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442910/Aviso_Factor_de_Emisiones_2018.pdf).

²Cantidad de energía equivalente a un millón de vatios. El vatio es una unidad de energía equiparable a un julio (cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton en un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza). El volumen de energía primaria necesario para producir un kilovatio-hora (KWh) de energía eléctrica, depende de la eficiencia de la tecnología de generación. A una central térmica moderna se le reconoce una eficiencia de hasta 40%. Esto significa que se requieren 9,000 kilojulios para producir un KWh, para lo cual se necesitan 200 mililitros de residual de petróleo o 320 gramos de carbón de calidad internacional. Una planta moderna de ciclo combinado alcanza eficiencias superiores al 55%, requiriendo 6,500 kilojulios de calor primario para generar un KWh de electricidad, para lo cual se consumen 0.173 metros cúbicos de gas natural. Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) equivalentes a CO_2 de las cantidades de energía primaria necesarias para generar un KWh de electricidad serían: 800 gramos para el residual de petróleo, 660 en el carbón y 367 para el gas natural. En síntesis, con respecto a la generación de electricidad con gas natural, las emisiones de GEI para producir un KWh de electricidad son 118% mayores con el residual de petróleo y 79.8% en el caso del carbón. Para estos cálculos se utilizó el tabulador del Grupo Internacional de Expertos en Cambio Climático (IPCC), el cual reporta 73.3 TCO_{2e} por Terajulio generado por la combustión de residual de petróleo, 94.6 TCO_{2e} en el caso del carbón y 56.1 TCO_{2e} para el gas natural (IPCC, 2006). a Comisión Reguladora de Energía (CRE) publica cálculos de emisiones de GEI basados el factor de emisiones del Sistema Eléctrico Nacional (https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442910/Aviso_Factor_de_Emisiones_2018.pdf).

misma corresponde a tres centrales carboeléctricas, dos localizadas en el municipio de Nava (Coahuila) –con una capacidad conjunta de 2,600 MW– y una más alojada en Petacalco, municipio de la Unión, (Guerrero) –con 2,778 MW–. Durante ese año, estas centrales generaron 29,189.6 gigawatts hora (GWh)³, correspondientes al 9.2% de la electricidad total producida en el país (317,278 GWh) (Cenace, 2019). En conjunto, emitieron 23.6 MtCO₂e, 19.2% del total de GEI originados en el sector eléctrico nacional en el año 2017 (SENER, 2018).

Para cumplir las metas de reducción de emisiones establecidas en la **Contribución Nacionalmente Determinada** (NDC, por sus siglas en inglés), el sector eléctrico nacional debe aportar el 50% de ese esfuerzo. Por lo anterior, considerando la evolución esperada del consumo eléctrico en los próximos años, las metas ya referidas, relativas al incremento de la participación de las energías limpias en la matriz de generación del sistema eléctrico nacional, son ineludibles para honrar este compromiso internacional.

Por fortuna, el desarrollo tecnológico para la generación eléctrica con sol y viento ha permitido abatir los costos nivelados⁴ a montos inferiores a los de las tecnologías convencionales más competitivas en estos términos (carbón y plantas de gas de ciclo combinado) (Lazard, 2019). Existe pues una condición favorable para el reemplazo gra-

dual de las plantas carboeléctricas por renovables. Esta posibilidad es particularmente importante para alcanzar las metas de reducción de GEI en el sector eléctrico en México, pues la tecnología de generación con carbón se encuentra entre las de más altas emisiones de CO₂ (791 kilogramos de dióxido de carbono por MWh generado), NO_x (6.1 kilogramos de óxido de nitrógeno), SO₂ (9.9 kilogramos de dióxido de azufre) y 0.5 kilogramos de partículas (CFE, 2015 y SENER, 2018).

Considerando lo anterior, los objetivos de este reporte son:

1 Dimensionar la importancia económica de las plantas carboeléctricas existentes en México, considerando su articulación con el resto de las actividades productivas, su capacidad de generación de valor agregado, empleo e ingreso y consumo para los hogares mexicanos

2 Estimar las consecuencias, en las variables arriba indicadas, de la reducción total o parcial de sus actividades

³Un gigawatt-hora equivale a 1,000 megawatts-hora.

⁴“El costo nivelado de energía (LCOE, por sus siglas en inglés) es el valor actual del precio de producción de electricidad durante la vida útil de una planta, incluida la construcción, operación y mantenimiento y costos de combustible” (GGGI, 2020). Una adecuada estimación de costos debe reconocer los que se derivan de cada fase del proceso: diseño, construcción, operación (incluido el costo del combustible), mantenimiento y desmantelamiento de la central generadora. Y sumar los de transmisión, distribución y servicios de medición y comercialización. Asimismo, los costos de externalidades, especialmente los asociados a las emisiones de GEI. En el caso de las renovables, deben también contemplarse los requisitos técnicos y los costos asociados para el manejo de la intermitencia (respaldo), la volatilidad (estabilidad de frecuencia y voltaje) y el reforzamiento de red (para recibir y entregar energía).

3 Valorar la importancia económica de las centrales carboeléctricas existentes en tres ámbitos espaciales: el estado de Coahuila, donde se concentra la producción de carbón mineral y están establecidas dos de las tres centrales a carbón de escala industrial que operan en México; el resto del país y la economía mexicana en su conjunto

4 Plantear estrategias de reestructuración económica que faciliten la transición justa del carbón a las energías renovables, especialmente en el estado de Coahuila

Para estos propósitos, se construyó un modelo económico multisectorial e interregional, alimentado con datos de matrices regionales y nacional de contabilidad social, el cual nos permite identificar:

- Los *efectos directos*: la demanda de insumos para atender los requerimientos de producción de la actividad analizada).
- Los *efectos indirectos*: las demandas de insumos desencadenadas por los proveedores de la actividad analizada en el resto de la economía de la región).

- Los *efectos inducidos*: derivados de los gastos de consumo privado efectuados por los hogares cuyos ingresos se modificaron como consecuencia de los efectos directos e indirectos antes definidos.
- Los *efectos de retroalimentación*: la variación en el nivel de actividad de un sector puede alterar la demanda de insumos provenientes del resto del país y estimular actividades económicas con incidencia sobre la demanda de insumos intermedios producidos por la región en la cual se originó el choque inicial)⁵.

Es importante mencionar que todas las estimaciones se realizaron tomando como base el año 2018 por las siguientes razones: el último Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional emitido por el gobierno de México corresponde a 2019 – en el cual se encuentran las estadísticas relativas a generación bruta y capacidad instalada por central eléctrica hasta 2018—; y, de forma adicional, al momento de construir el modelo sectorial, el último año en el cual coincidían todas las estadísticas requeridas era 2018 – entre ellas: producto interno bruto por entidad federativa, remuneraciones, impuestos, importaciones, entre otras—. Asimismo, fue esencial obtener información de Censos Económicos 2018 (último censo económico disponible hasta el momento).

⁵Una Matriz de Contabilidad Social (MCS) constituye una extensión del modelo insumo-producto, la cual, bajo el marco de cuentas nacionales, completa la representación del sistema económico al establecer el flujo circular de ingreso-gasto, incluyendo el pago de factores productivos, los ingresos de los actores institucionales (hogares, gobierno, resto del mundo y ahorro-inversión) y la demanda de dichos agentes. Además, en las MCS, a diferencia de los modelos de Leontief, los hogares son endógenos al modelo. Este tipo de modelos, aunque son una herramienta valiosa para analistas y tomadores de decisiones por su capacidad de representar una imagen holística de una economía particular, presenta limitaciones similares a las de los modelos insumo-producto: Los coeficientes técnicos son fijos, lo cual implica funciones de producción lineales y rendimientos constantes de escala; los productos de distintos sectores no son sustituibles; los precios permanecen constantes y las cantidades responden a cambios en la demanda final exógena y la demanda final y los factores de producción se especifican de forma exógena al modelo.

Oferta y demanda de carbón en México

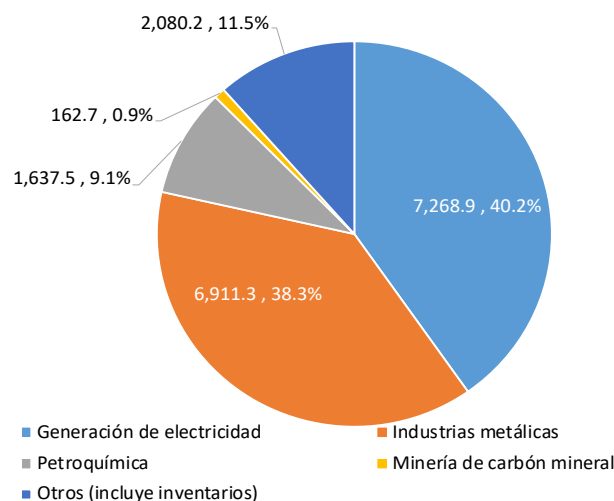
El énfasis de este reporte en el estado de Coahuila, no sólo se explica por la presencia de dos centrales carboeléctricas en su territorio, las cuales concentran el 48.3% de la capacidad instalada de generación de electricidad con ese combustible, sino también por el hecho de que el carbón térmico que las alimenta se produce en el propio estado. En efecto, el 99% de la oferta nacional de este tipo de carbón, que en el 2018 ascendió a 6'772,528.21 toneladas, se extrajo de las cuencas carboníferas de Coahuila; el resto proviene de la cuenca terciaria localizada en el noroeste de Tamaulipas (Servicio Geológico Mexicano -SGM-, 2019) (ver figura 1).

Durante el año 2018, la oferta total de carbón térmico fue de 14'008,790.39 toneladas, de manera que la oferta importada alcanzó 7'236,262.18 toneladas (51.7% de la oferta total), provenientes de Colombia (74.4%) y los Estados Unidos de América (EUA) (25.6%) (SGM, 2019). Con este energético se generó electricidad en la planta de Petacalco, en el estado de Guerrero. En el caso de Coahuila, la vinculación entre la minería del carbón y la producción de electricidad con ese combustible amplifica la dimensión de los impactos económicos y sociopolíticos de una transición justa hacia las energías renovables, pues la minería del carbón es la fuente de trabajo y sustento de miles de familias del noreste del estado de Coahuila. La situación se torna más compleja en medio de una contracción sustancial en los principales mercados de destino de la producción nacional de carbón: las carboeléctricas de Nava, Coahuila y el complejo siderúrgico de Altos Hornos de México (AHMSA), en la ciudad de Monclova, en el centro del estado de Coahuila.

La gráfica 1 ilustra la demanda de los 18,061 millones de pesos de la producción doméstica de carbón en el año 2018. Excluyendo el valor anormalmente alto del rubro “otros”, fundamentalmente explicado por el aumento en los inventarios –lo cual en sí mismo ilustra las dificultades para colocar el producto—, el 88.7% del valor producido se distribuye en proporciones muy similares entre las ventas de carbón para generar electricidad (45.2%) y las destinadas a la fabricación de coque para los procesos de producción de acero (43.2%). En un lejano tercer sitio (10.2%), se ubica la industria petroquímica y el 1% restante se consume al interior de la propia actividad.



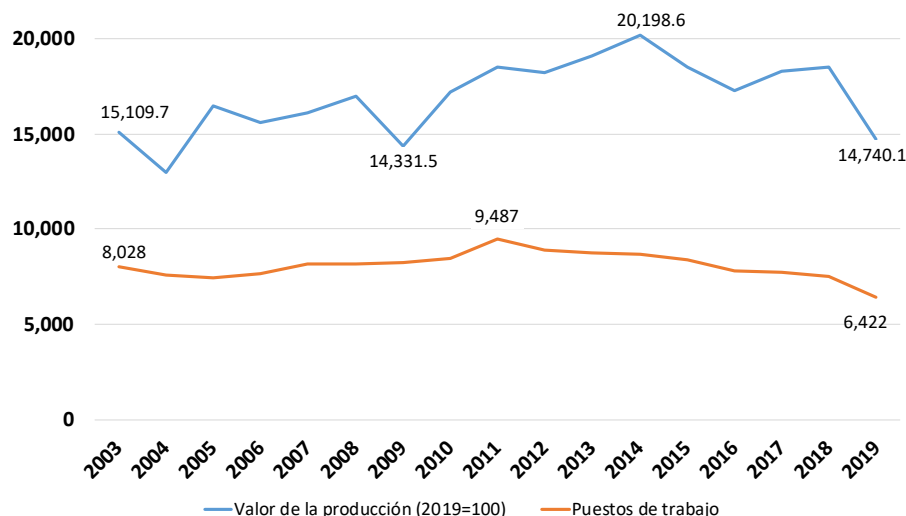
Figura 1. Cuencas carboníferas de Coahuila y Tamaulipas
FUENTE: Programa minero del estado de Coahuila
(Servicio Geológico Mexicano, 2017).



Gráfica 1. México, 2018. Estructura de la demanda nacional de carbón. Millones de pesos (2018=100) y porcentaje (%).
FUENTE: Modelos multisectoriales construidos con matrices de contabilidad social basados en información del Inegi.

El valor de la producción de carbón mineral mostró una tendencia claramente ascendente entre el 2003 y el 2014, año en el cual alcanzó su nivel máximo (20,199 millones de pesos⁷) (ver gráfica 2). Entre esta fecha y el 2019, perdió más de una cuarta parte de su valor (-27%), pues registró tasas negati-

vas promedio anual de -6.1% durante ese periodo. Por su parte, el empleo aumentó un 18.2% entre el 2003 y el 2011, año en el cual esta actividad generó 9,487 puestos de trabajo. **De ese año al 2019, se perdieron 3,065 empleos, casi una tercera parte de los existentes ocho años atrás (-32.3%).**

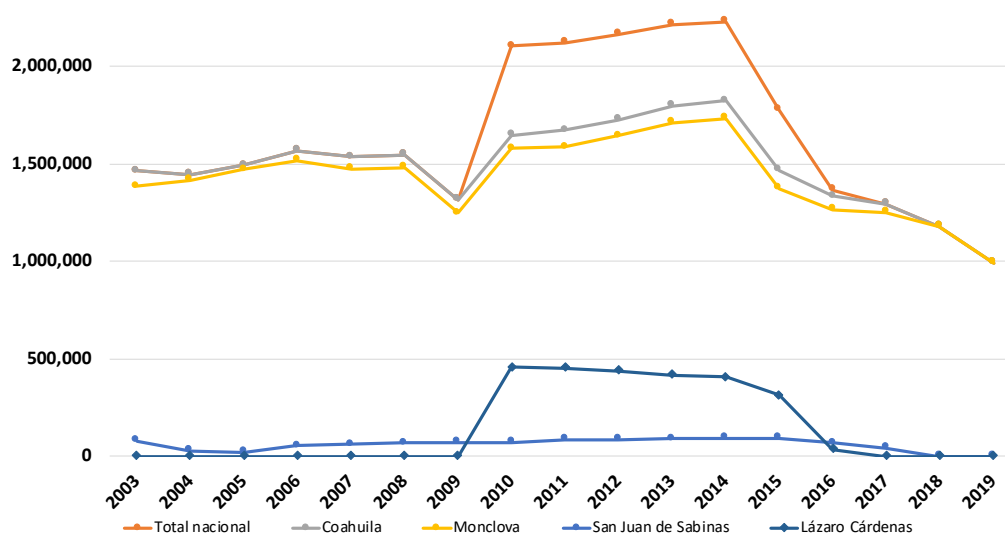


Gráfica 2. México. Minería de carbón mineral. Valor de la producción y puestos de trabajo. 2003-2019. Millones de pesos (2019=100) y personas FUENTE: Inegi. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Por su parte, la oferta total de carbón de coque muestra paralelismos con la del térmico. En el 2018 ascendió a 2'386,495.12 toneladas; 1'180,415 producidas en Coahuila (49.5%) y el resto (1'206,080.12, 50.5%) importadas principalmente desde Colombia y los EUA

(INEGI y SGM, 2019). Salvo un periodo de siete años (2010-2017), en el cual se registró actividad en el complejo siderúrgico de Lázaro Cárdenas (Michoacán), el 100% de la producción nacional de coque se realiza en el estado de Coahuila (ver gráfica 3).

⁷ El valor de la producción durante este periodo se evalúa en unidades monetarias del 2019 (2019=100).

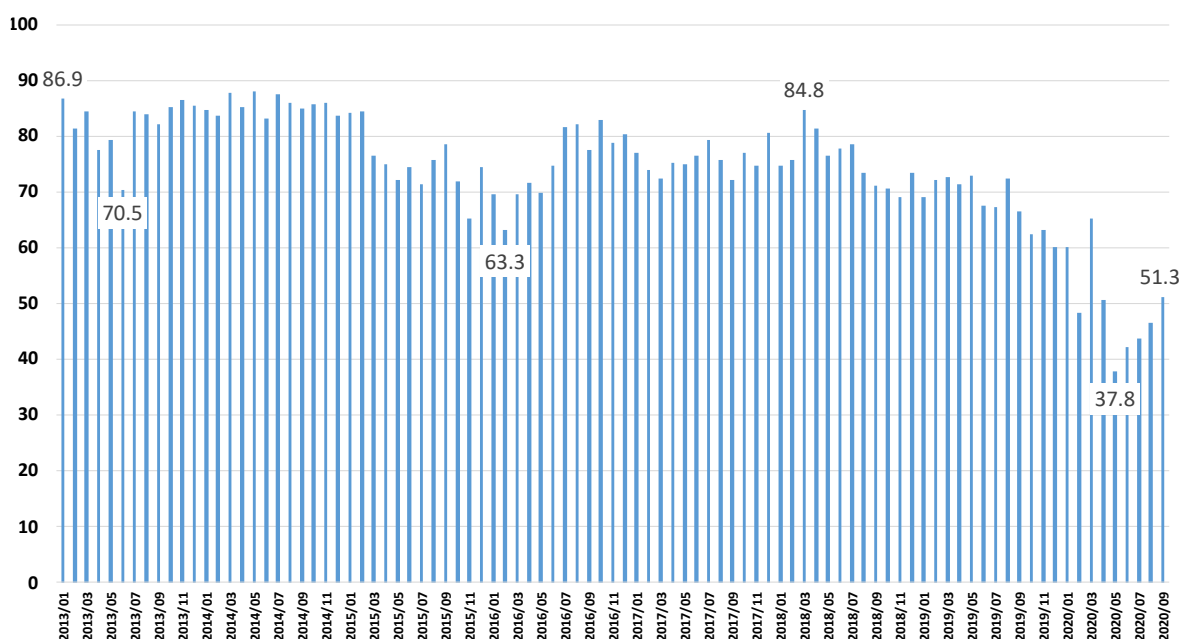


Gráfica 3. México. Volumen de la producción de coque. 2003-2019. Toneladas.

FUENTE: Inegi. Estadística Mensual de la Industria Minero metalúrgica.

De forma análoga al carbón térmico, la producción nacional de carbón de coque se destina mayoritariamente a un solo cliente y propósito; la fundición de acero en AHMSA, en tanto las importaciones de ese mineral se emplean fundamentalmente para el mismo fin, pero en la siderúrgica de Lázaro Cárdenas. El volumen de producción de coque en Coahuila creció un 24.8% entre el año 2003 (1'462,106 t) y el 2014 (1'824,028 t). Entre ese año y el 2019, experimentó un desplome del 45.7%, cuando solamente se produjeron 990,979 toneladas.

El abatimiento de la producción de coque y las estadísticas de la capacidad de planta utilizada en los complejos siderúrgicos en México (*ver gráfica 4*), dan cuenta de las dificultades recurrentes que ha enfrentado esta actividad en años recientes. Lo anterior causado por la sobreoferta internacional del acero y la inundación de importaciones desleales, provenientes especialmente de China, que aprovecharon la reducción nacional de aranceles. Recientemente, esta industria fue afectada por los impuestos proteccionistas aplicados por EUA y la profunda contracción económica desencadenada por la pandemia por Covid-19.



Gráfica 4. Complejos siderúrgicos en México. Capacidad de planta utilizada. Enero del 2003 a septiembre del 2020. Porcentaje del total (%).

FUENTE: Inegi. Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera.

Capacidad instalada y generación de electricidad en Coahuila

Con información del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen) 2018 y de las asociaciones mexicanas de energía eólica (AMDEE) y solar (ASOLMEX), se pudo determinar la capacidad instalada de generación de electricidad de las plantas que operan en el estado de Coahuila en el año 2018: 4,902 MW. Poco más de la mitad corresponde a las plantas carboeléctricas Carbón II y Río Escondido (53%), el 17.3% a las solares fotovoltaicas, el 11.7% a las centrales de ciclo combinado, el 8.1% a las eólicas y el 9.8% restante se distribuye entre plantas de turbogás, termoelectrónica convencional, combustión interna, hidráulica, bioenergía y cogeneración (ver tabla 1).

Destaca el dinamismo en la capacidad de generación de electricidad con sol y viento. Los proyectos fueron asignados durante las subastas a largo plazo realizadas en los años 2015 a 2017. Las cinco plantas operando en el año 2018 ya contaban con una capacidad conjunta de 1,248 MW, a las que se suman

otras cinco, ya operando o listas para pruebas, concluidas durante el 2019 y 2020, así como una más en construcción, programada para su operación en el transcurso del 2021. De forma que, **hacia finales del 2021, la capacidad instalada de estas once centrales solares y eólicas se elevará a 1,877.24 MW, cifra equivalente al 72.7% de la capacidad disponible en las carboeléctricas de Nava (Coahuila).**

La contribución de las plantas solares y eólicas a la generación de electricidad (dos últimas columnas de la tabla 1) fue del 18.2% en el 2017, cifra inferior a su participación en la capacidad instalada (29%). Además de que no todas las plantas disponibles en el 2018 operaron durante todo el año, las centrales con estas tecnologías tienen un factor de planta inferior a las convencionales, pues la disponibilidad de viento o sol es variable. Las carboeléctricas aportaron el 62.7% de la electricidad generada ese año, en tanto las centrales de ciclo combinado el 14.4%. Junto a las solares y eólicas, fueron las de mayor participación en la generación eléctrica estatal, la cual ascendió a 19,913 GWh en el 2017.

Tecnología	Capacidad MW ¹	%	Generación GWh ²	%
Ciclo combinado	574	11.7%	2,867	14.4%
Termoelectrónica convencional	23	0.5%	117	0.6%
Carboeléctricas y lecho fluidizado	2,600	53.0%	12,476	62.7%
Turbogás	279	5.7%	225	1.1%
Combustión interna	50	1.0%	92	0.5%
Hidroeléctricas	66	1.3%	148	0.7%
Eólicas	400	8.1%	1,344	6.7%
Solares	848	17.3%	2,281	11.5%
Bioenergía	3	0.1%	7	0.0%
Cogeneración	60	1.2%	356	1.8%
	4,902	100%	19,913	100%

¹ Estimación 2018 considerando información del programa indicativo para el establecimiento y retiro de plantas del Prodesen 2018.

² Datos del 2017, salvo para tecnologías eólica y solar (2018)

Tabla 1. Coahuila, 2018: Características básicas de las centrales eléctricas en operación. Capacidad (MW) y (%), Generación (GWh) y (%) FUENTE: Prodesen 2018, AMDEE y ASOLMEX.

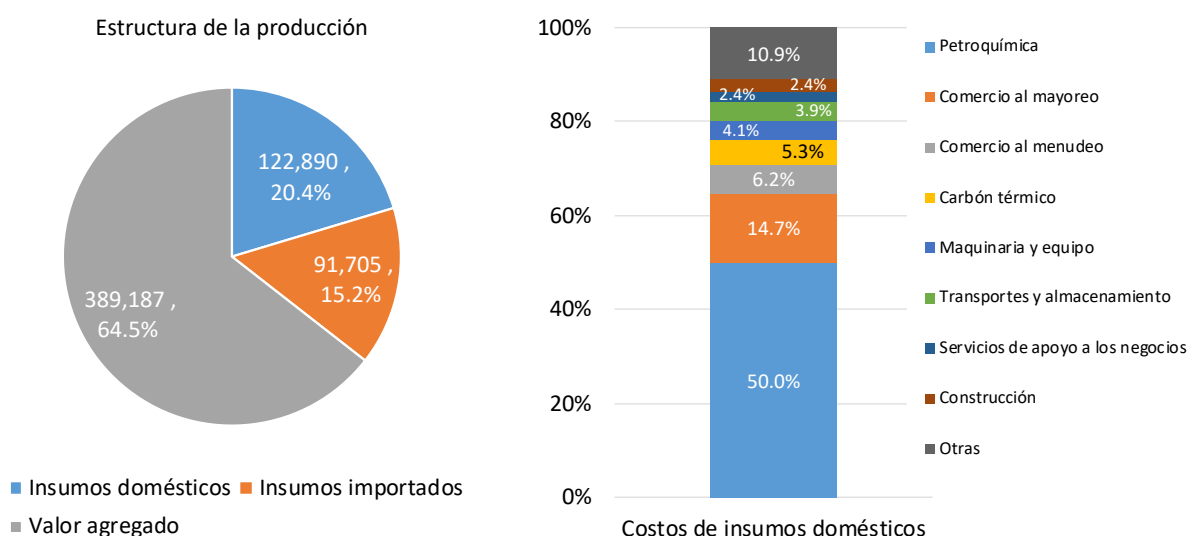
Oferta y demanda nacional de la generación de electricidad en México y en Coahuila

A partir de este apartado, nuestro análisis se basa en los resultados de un modelo económico multisectorial e interregional construido exprofeso para este estudio.

En la economía mexicana, el valor de la producción bruta de la actividad de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, alcanzó un monto de 603,224 millones de pesos en el año 2018. El personal ocupado total en esas tareas fue de 98,298 personas, generando un valor agregado de 389,187 millones de pesos, correspondiendo el 84.2% de esta cantidad al excedente bruto

de operación, el 15% a las remuneraciones a los asalariados y el 0.9% restante al pago neto de impuestos indirectos sobre la producción. Las compras de insumos domésticos se elevaron a 122,890 millones de pesos, las de insumos importados a 91,705 y estos insumos, domésticos y foráneos, recibieron un subsidio neto de 558 millones de pesos por parte del gobierno (ver gráfica 5, izquierda).

La gráfica 5 derecha muestra la estructura de las compras de insumos intermedios de origen doméstico realizadas por esta industria. El 50% del total corresponde a compras a la industria petroquímica



Gráfica 5. México: Estructura de la producción de la generación eléctrica y de los costos en insumos domésticos. 2018. Valor (millones de pesos, 2018=100) y Porcentaje del total (%). FUENTE: Modelos multisectoriales construidos con matrices de contabilidad social basados en información del Inegi.

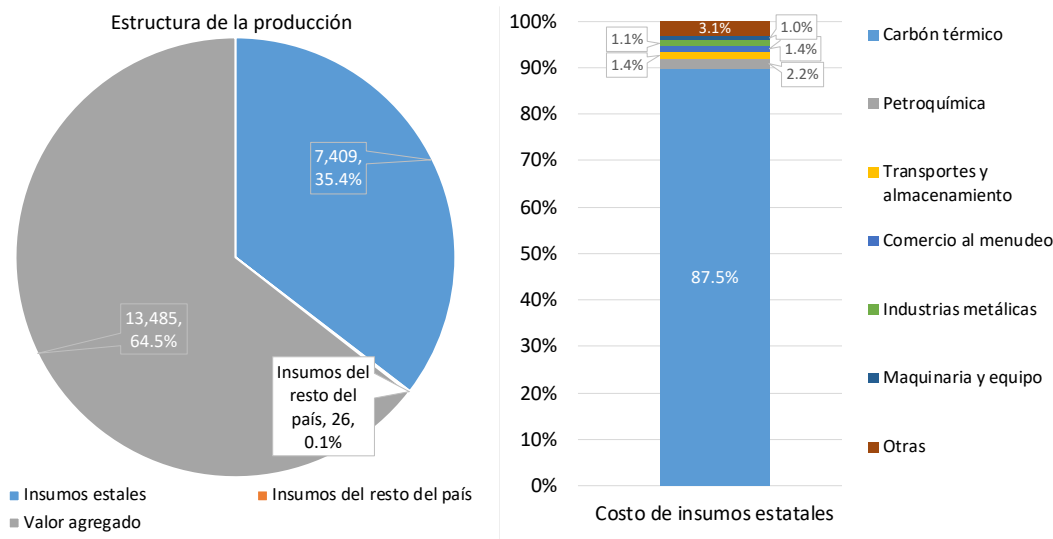
⁸“Relación entre la energía eléctrica producida por una unidad generadora y la energía posible de producir por la misma al operar a su potencia máxima durante un periodo de tiempo determinado” (Sener, 2018).

⁹Su desarrollo se basa en el cálculo de matrices de contabilidad social elaboradas con información de: Matrices de Insumo Producto; Sistema de Cuentas Nacionales de México; Cuentas por Sectores Institucionales; Encuestas de Ingreso Gasto de los Hogares; Producto Interno Bruto de las Entidades Federativas; Exportaciones por Entidad Federativa y otros recursos estadísticos desarrollados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). El modelo proporciona datos para 35 actividades productivas, cuatro sectores institucionales (hogares, gobierno, empresas y sector externo), así como del ingreso disponible, consumo y ahorro para diez grupos de hogares, ordenados por deciles de ingreso. Cubre tres ámbitos territoriales: estado de Coahuila, resto del país (las otras 31 entidades federativas) y la economía mexicana en su conjunto. Los detalles relativos a los procedimientos empleados en la construcción de las bases de datos, así como a la conformación y solución del mismo, pueden consultarse en el libro (Dávila, A. 2019), disponible en: <https://www.cise.uadec.mx/libros.html>

ca, principalmente por concepto de combustibles de origen petrolero, empleados en la generación de electricidad; el pago por servicios de comercio al mayoreo y menudeo representaron el 14.7 y 6.2%, respectivamente; la compra de carbón mineral se elevó al 5.3%, la de maquinaria y equipo, 4.1%, los servicios de transporte y almacenamiento 3.9%, los servicios de apoyo a los negocios y la industria de la construcción, 2.4% en cada caso, y los demás sectores aportaron el 10.9% restante. Así pues, las compras de energía primaria (carbón, gas natural, combustóleo, diésel y gasolina) absorben el 55.3% de las compras de insumos nacionales y entre las adquisiciones de insumos foráneos también predominan las importaciones de

fuentes de energía primaria para la producción de electricidad (especialmente carbón y gas natural).

En la matriz energética de Coahuila (ver tabla 1), las energías limpias (hidráulica, eólica, solar, bioenergía y cogeneración) y la carboeléctrica, concentran más de cuatro quintas partes de la capacidad eléctrica instalada. En todos estos casos, la energía primaria empleada es de libre acceso (como el viento y el sol) o su oferta es de origen estatal (como en el caso del carbón térmico). Esto determina un alto grado de autosuficiencia en la disponibilidad local de los insumos más importantes para su operación (ver gráfica 6 izquierda).



Gráfica 6. Coahuila: Estructura de la producción de la generación eléctrica y de los costos en insumos domésticos. 2018. Valor (millones de pesos, 2018=100) y Porcentaje del total (%). FUENTE: Ibidem.

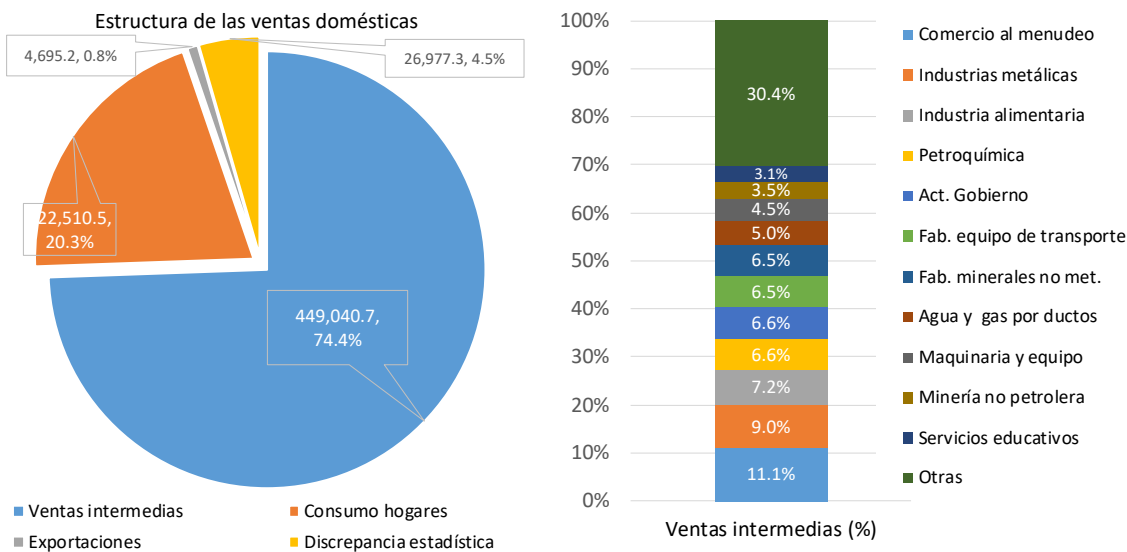
De igual forma, determina que el 87.5% de las compras de insumos estatales realizadas por esta actividad, valuadas en 6,481.34 millones de pesos, se concentren en las adquisiciones de carbón térmico (ver gráfica 6 derecha). Con mucha menor participación, otras cinco actividades sobresalen entre los principales proveedores del sector de generación y transmisión eléctrica: la petroquímica (2.2%), transportes y almacenamiento, así como comercio al menudeo (ambas con el 1.4%), las industrias metálicas (1.1%) y la fabricación de maquinaria y equipo (1%). **En Coahuila, este sector de actividad económica contribuyó con una producción bruta de un**

valor de 20,901.4 millones de pesos en el 2018. En estas tareas se ocuparon 3,406 personas.

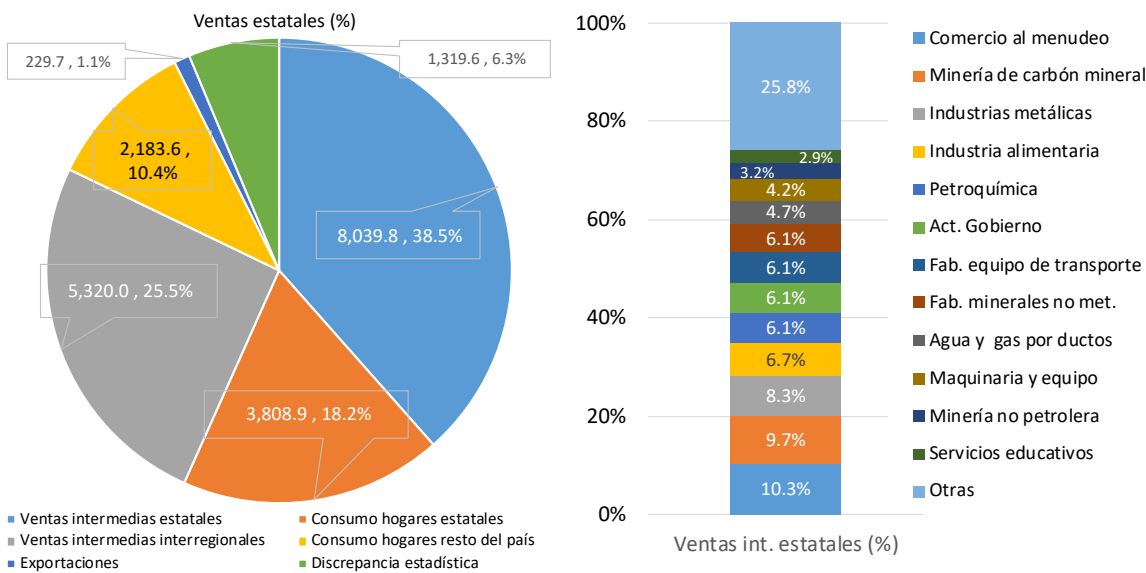
Pasemos ahora a revisar la estructura de las ventas nacionales de electricidad, empezando por la economía mexicana en su conjunto (ver gráfica 7). Casi tres cuartas partes del total (74.4%) se destinan a las ventas intermedias, el 20.3% al consumo en los hogares y el 0.8% se exporta. Siendo la electricidad un insumo transversal, es empleada por todas las actividades productivas. La parte derecha de la gráfica 7 contiene la información de la estructura de las ventas intermedias de la oferta nacional de energía eléctrica; destacan las

realizadas al comercio al menudeo (11.1%), las industrias metálicas (9%), la industria alimentaria (7.2%), la petroquímica y las actividades de gobierno (6.6%, en cada caso), la fabricación de equipo de transporte y de minerales no metálicos (6.5%, cada una), el suministro de agua y gas por ductos (5%), maquinaria y equipo (4.5%), minería no petrolera (3.5%) y servicios educativos (3.1%). Las 24 actividades restantes consumieron el 30.4%. La gráfica 8 muestra la información equivalent-

te para la economía de Coahuila. En su parte izquierda se puede apreciar que el estado es exportador de energía eléctrica, pues un 37% de sus ventas se destinan a las actividades productivas (25.5%) y los hogares (10.4%) localizados en el resto del país, en tanto el 1.1% se vende al mercado externo. El consumo estatal de la electricidad generada en la propia entidad alcanza el 56.7% de las ventas de esta industria en Coahuila; el 38.5% para las actividades productivas y el 18.2% para el consumo de los hogares establecidos en el estado.



Gráfica 7. Coahuila: Estructura de la producción de la generación eléctrica y de los costos en insumos nacionales. 2018. Valor (millones de pesos, 2018=100) y Porcentaje del total (%). FUENTE: Ibidem.



Gráfica 8. Coahuila: Estructura de la oferta nacional y de las ventas intermedias de la generación eléctrica. 2018. Valor (millones de pesos, 2018=100) y Porcentaje del total (%). FUENTE: Ibidem.

Impactos económicos del cierre de las carboeléctricas existentes en México

Estamos ahora en condiciones de cuantificar los impactos económicos del retiro de las centrales de generación de electricidad a base de carbón en México. Recordemos que en nuestro país existen tres centrales que utilizan esta fuente de energía primaria: dos localizadas en el municipio de Nava, en el noreste del estado de Coahuila (Carbón II, con una capacidad de 1,400 MW y Río Escondido, 1,200 MW) y una más ubicada en Petacalco, en el municipio de la Unión, en el estado de Guerrero (Plutarco Elías Calles, 2,778 MW).

1. Impactos en los grandes agregados económicos

Inicialmente evaluaremos las repercusiones en tres grandes agregados económicos: el valor de la producción bruta (PB), el producto interno bruto (PIB) y el ingreso disponible de los hogares (IH).

Analizaremos los cambios en estas variables en los tres ámbitos territoriales contemplados en el ensayo (Coahuila, resto del país y México) y en cada caso examinamos los efectos del cierre total de cada una de las tres centrales de generación eléctrica a base de carbón existentes en México. Adicionalmente, calculamos las repercusiones del cierre de las dos plantas establecidas en Coahuila y, finalmente, las consecuencias del cierre simultáneo de las tres instalaciones. Los resultados miden el impacto de cada simulación en el valor

anual, absoluto y relativo, de cada variable y en la economía de cada uno de los tres espacios geográficos contemplados. Los efectos perduran en tanto lo hacen las condiciones que les dieron origen, de manera que, si los cierres son definitivos, sus consecuencias también lo son. Por supuesto, pueden ser total o parcialmente compensados por la sustitución de la generación de electricidad con otras tecnologías. Profundizaremos sobre este último punto en el siguiente apartado. Sintetizando, modelamos cinco simulaciones de cierre de carboeléctricas: 1. Carbón II, 2. Río Escondido, 3. Las dos plantas de Coahuila, 4. Petacalco y 5. Cierre de las tres centrales. Los resultados se presentan en la gráfica 9.

Los efectos agregados en estas variables parecen moderados, especialmente en el resto del país y en el conjunto de la economía nacional. Como veremos posteriormente, las consecuencias en los sectores involucrados (minería de carbón y generación de electricidad) son mucho mayores y especialmente importantes en las regiones carbonífera y norte del estado de Coahuila, en dónde se concentran estas actividades¹⁰.

Si nos enfocamos en el quinto escenario (cierre de las tres plantas), las afectaciones en el estado de Coahuila son mucho más intensas: la reducción global del valor de la producción en ese estado sería de -1%, 7.4 veces mayor a la contracción del -0.13% en la economía nacional. Este

¹⁰ Hay dos razones por las cuales los efectos agregados de estas simulaciones son moderados en los ámbitos espaciales analizados: 1. la baja participación relativa de las actividades involucradas (no obstante que la minería de carbón se localiza en un 99% en el estado de Coahuila, su participación en el PIB estatal es del 1.55% y la generación y transmisión de electricidad aporta el 1.63%. En el plano nacional, estas cifras son mucho menores en el caso del carbón (0.058%) y ligeramente superiores en la generación de electricidad (1.75%) y; 2. por ser actividades de extracción primaria (minería), o con poca transformación de los insumos productivos (generación de electricidad), los eslabonamientos y los efectos multiplicadores en estas actividades son moderados. Pero si las repercusiones son relevantes en los sectores afectados, como es el caso, estas actividades resientirán efectos significativos, lo mismo que las economías de aquellas regiones altamente especializadas en las mismas, como es el caso de la región noreste de Coahuila y, especialmente la región carbonífera y el municipio de Nava, donde la extracción de carbón y la generación de electricidad con este mineral son sustanciales.

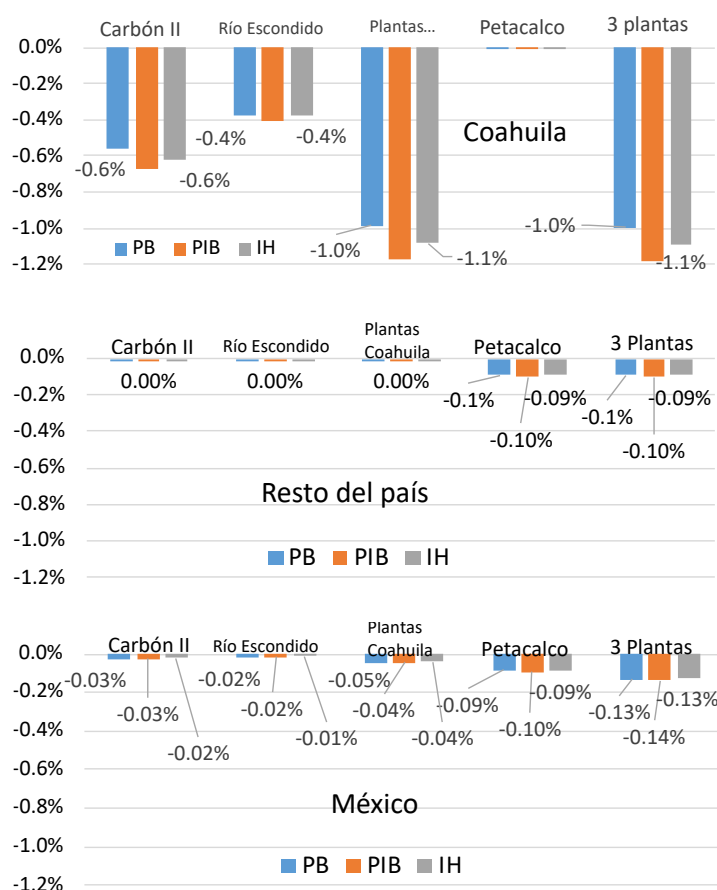
factor es de 8.4 en el caso del PIB y de 8.7 en el ingreso disponible en los hogares. La economía de la región “resto del país”, es la menos afectada.

La salida de la planta de Petacalco tendría un impacto marginal en la economía de Coahuila (-0.01% en las tres variables), en tanto sus consecuencias en el resto del país y en México, aun y cuando tendrían una intensidad de 9 a 10 veces mayor, serían reducidas (-0.09% en la PB y en el IH y -0.1% en el PIB).

En el estado de Coahuila, la salida de Carbón II tendría mayores consecuencias que la de Río

Escondido, lo mismo ocurriría a nivel nacional, aunque en una proporción 20 veces menor. Las variables estudiadas no registran cambios para el resto del país en este escenario.

Tanto la minería de carbón como la generación de electricidad a gran escala, son actividades muy intensivas en capital. Por esta razón, los efectos sobre el empleo son proporcionalmente menores a los observados en la PB, el PIB y el IH. La tabla 2 contiene los efectos agregados sobre el empleo en cada uno de los cinco escenarios y tres ámbitos territoriales estudiados.



Gráfica 9. Coahuila, resto del país y México: Impactos macroeconómicos de distintos escenarios de cierre de plantas carboeléctricas. Cambio porcentual en la producción bruta, el producto interno bruto y el ingreso disponible en los hogares (%). FUENTE: Ibidem.

La suspensión de actividades en las tres carboeléctricas produciría la cancelación de 12,565 empleos a nivel nacional, 5,064 en el estado de Coahuila y 7,501 en las 31 entidades federativas restantes. En términos relativos, el ajuste en el empleo es poco significativo (-0.22% del personal ocupado total en la economía de Coahuila, -0.02% en México y -0.01% en el resto del país), pero pro-

porcionalmente mucho más importante en el caso del estado de Coahuila (11 veces mayor al impacto nacional y un factor de 22 con respecto al resto del país).

El cierre de Carbón II suprimiría 2,912 empleos en Coahuila, el de la planta de Río Escondido 2,118 y la salida de Petacalco se traduciría en la

Territorio	Carbón II	Río Escondido	Río Escondido y Carbón II	Petacalco	Tres plantas
Coahuila	-2,901	-2,089	-4,990	-74	-5,064
Resto del país	-11	-29	-40	-7,461	-7,501
México	-2,912	-2,118	-5,030	-7,535	-12,565

Tabla 2. Coahuila, resto del país y México: Reducciones en el empleo bajo distintos escenarios de cierre de plantas carboeléctricas. (Personas). FUENTE: Modelos multisectoriales contruidos con matrices de contabilidad social basados en información del Inegi.

pérdida de 74 empleos adicionales en Coahuila. Para el resto del país, el que las carboeléctricas coahuilenses dejen de operar tiene un impacto mínimo en la ocupación laboral, tanto en términos absolutos (40 personas) como relativos (0% a tres dígitos), en tanto que la suspensión de Petacalco cancelaría 7,501 fuentes de trabajo.

2. Impactos sectoriales en la producción, el empleo, el valor agregado, el ingreso de los hogares y el consumo privado

A nivel nacional, el cese de operaciones de las tres carboeléctricas existentes en el país produciría un abatimiento de 53,502.6 millones de pesos (2018=100) en el valor de la producción bruta (0.13% del total generado por la economía mexicana). El 36% de esa disminución (19,260.7 millones de pesos), ocurriría en el estado de Coahuila y el resto (34,241.9 millones de pesos) en las otras 31 entidades federativas (*ver gráfica 10*). El ajuste en la economía de Coahuila sería mucho más importante que su participación en la población y el PIB nacional.

Las simulaciones efectuadas no sólo muestran una fuerte concentración territorial, sino también una aguda focalización de los impactos sectoriales, pues el 96.7% de la contracción de la producción en Coahuila ocurriría en la generación de electricidad (-12,078.9 millones de pesos) y en la minería del carbón (-6,546.7). Los porcentajes correspondientes a estos dos sectores en el resto del país y en el ámbito nacional son del 84.1 y 91.8%, respectivamente.

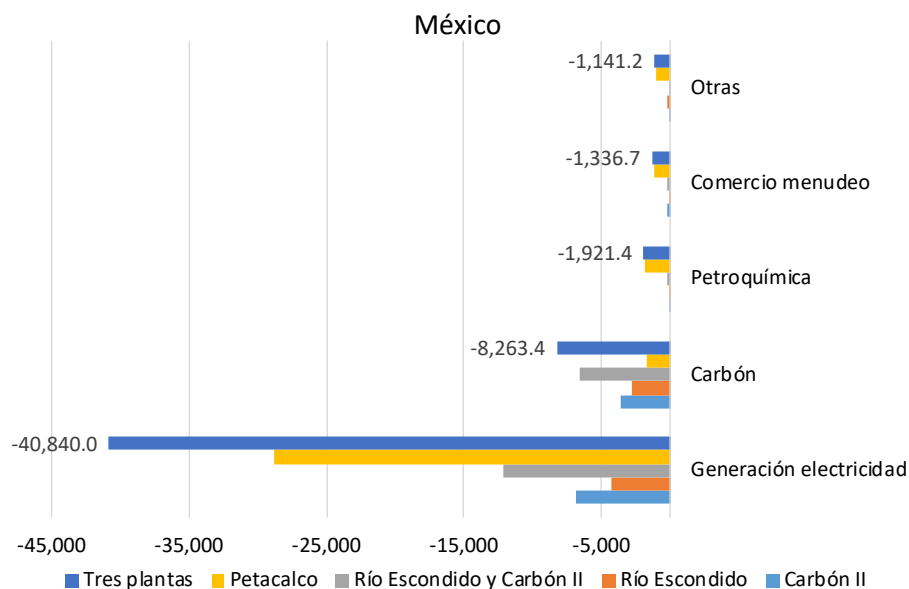
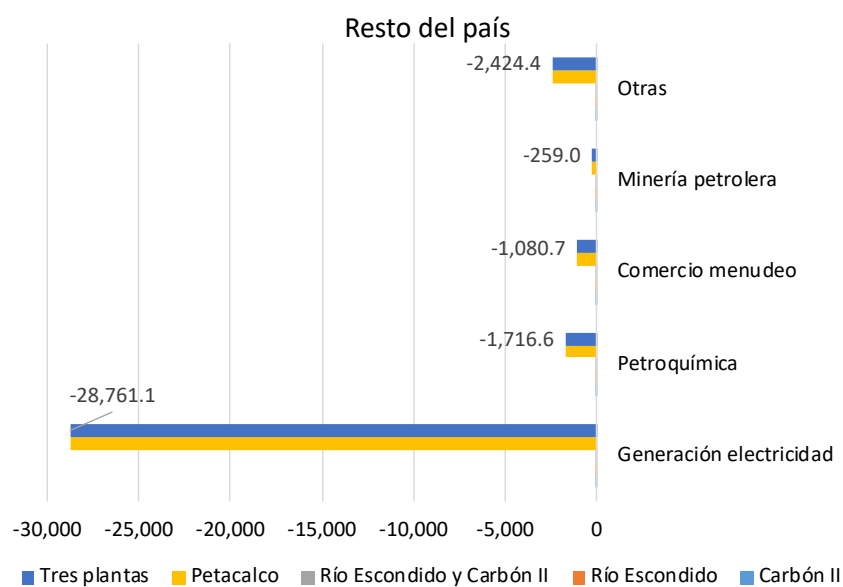
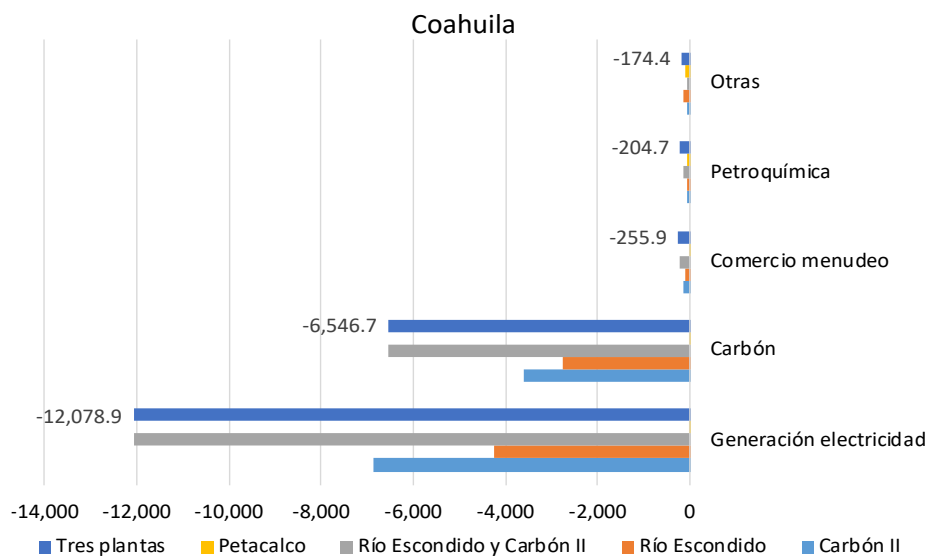
De forma más específica, el impacto en la economía de Coahuila afectaría en mucha mayor proporción a los

cinco municipios de la región carbonífera (San Juan de Sabinas, Múzquiz, Sabinas, Juárez y Progreso), a Nava (donde están las centrales eléctricas) y a Piedras Negras (junto con Nava, asiento geográfico de la mina productora de carbón térmico más importante del país: MICARE –Minera Carbonífera Río Escondido-).

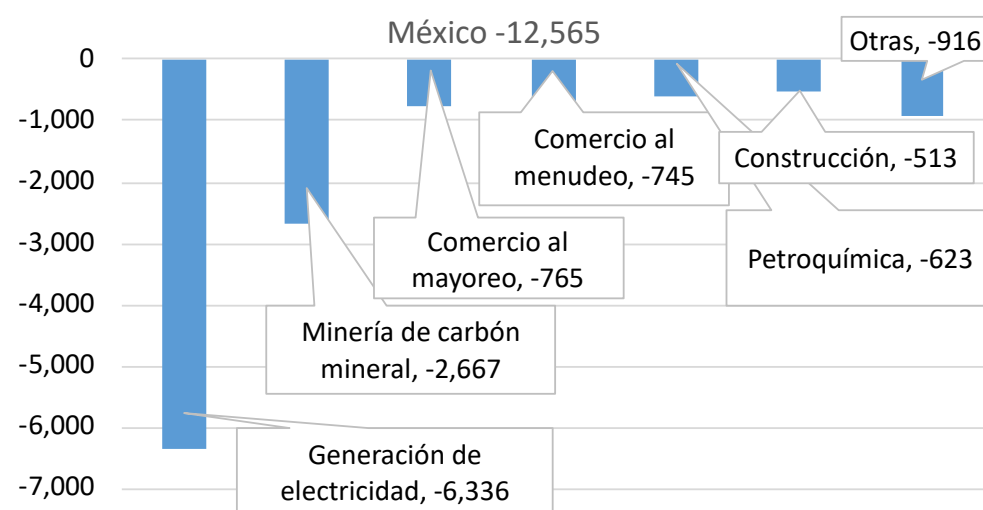
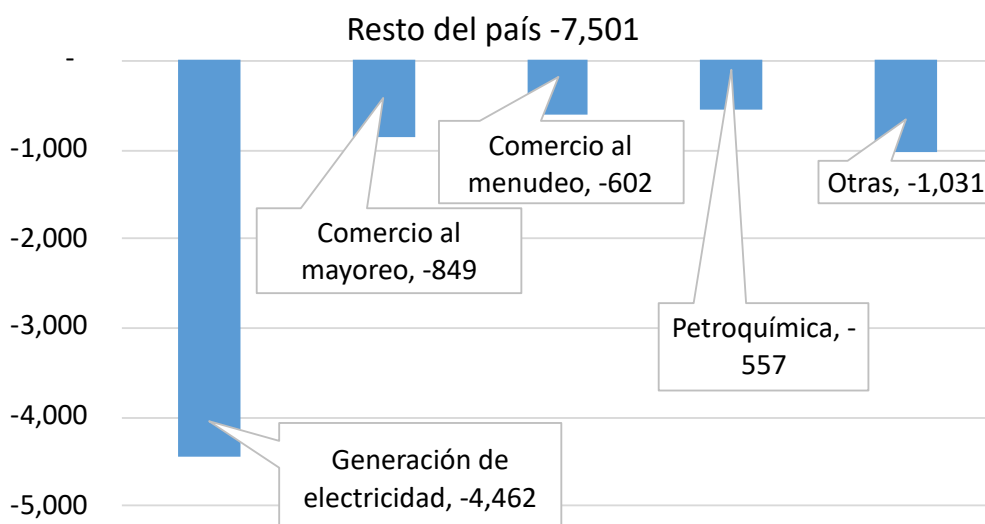
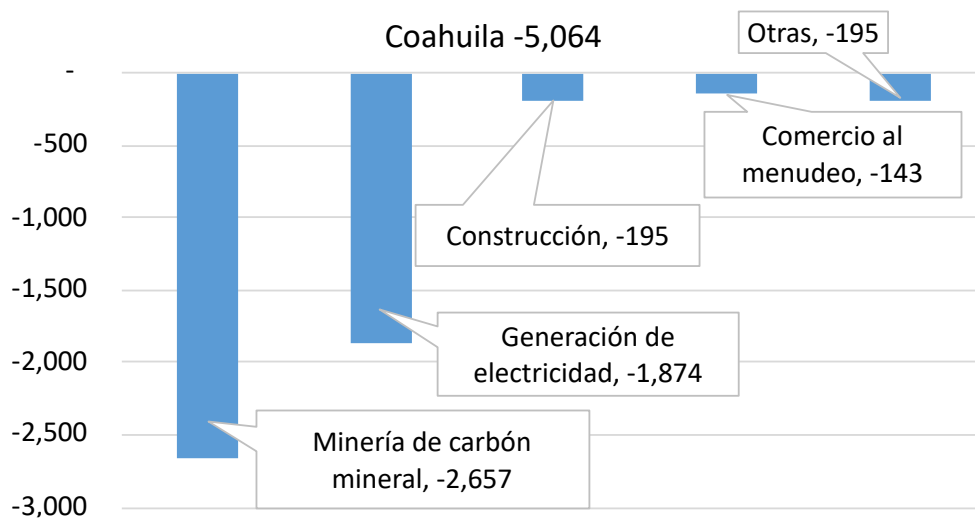
Algo similar ocurre en las repercusiones sectoriales y espaciales sobre el empleo (*ver gráfica 11*). En el escenario de cierre de las tres plantas, Coahuila absorbe el 40.3% del abatimiento total del empleo (5,064 puestos de trabajo de un total de 12,565) y cuatro sectores de actividad económica registran más de cuatro quintas partes de la contracción nacional en esa variable: generación de electricidad (50.4%), minería de carbón mineral (21.2%), comercio al mayoreo (6.1) y al menudeo (5.9). La participación de Coahuila en la reducción del empleo en la minería del carbón es del 100% y en la de la generación de electricidad alcanza el 29.6%.

Los ajustes en la producción y el empleo repercuten en la generación de valor agregado y en sus componentes (remuneraciones a los asalariados, excedente bruto de operación –EBO- e impuestos sobre los productos generados menos subsidios *-ver gráfica 12-*).

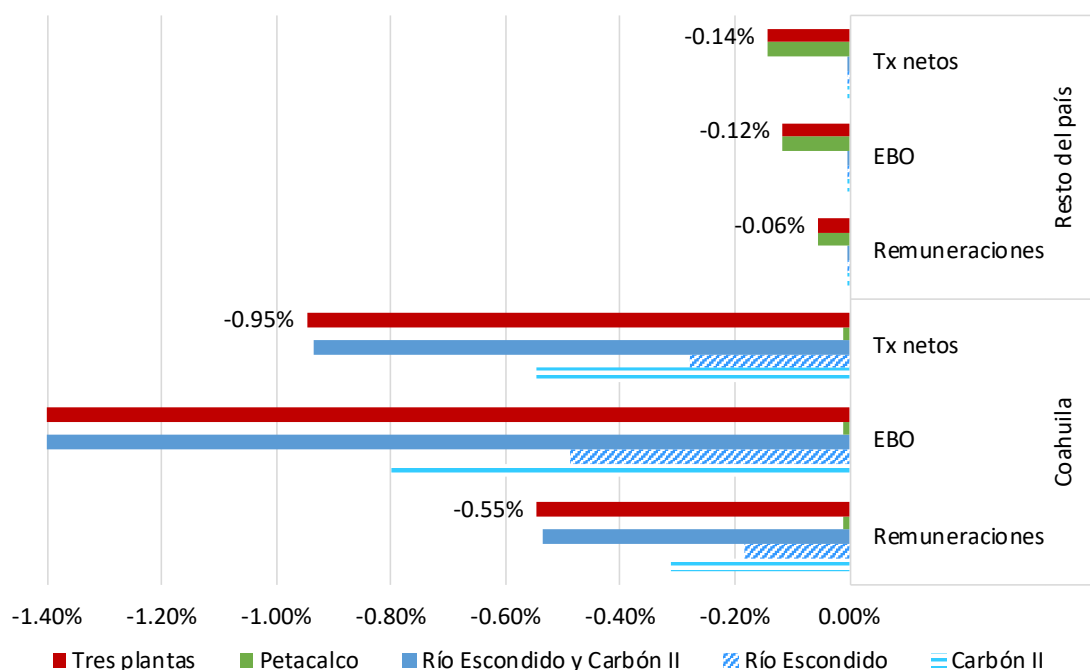
Nuevamente los impactos globales son moderados, pero mucho más importantes en la economía de Coahuila (un descenso del 1.4 y del 0.55% en el excedente bruto de operación y las remuneraciones a los asalariados, respectivamente). Al desagregar la información sectorialmente, se percibe el alto grado de afectación en la minería de carbón y en la producción de electricidad, especialmente en términos relativos en el estado de Coahuila (*ver gráfica 13*).



Gráfica 10. Coahuila, resto del país y México: Impactos en el valor bruto de la producción de distintos escenarios de cierre de plantas carboeléctricas. Millones de pesos (2018=100). FUENTE: Ibidem.



Gráfica 11. Coahuila, resto del país y México: Efectos sobre el empleo derivados del cierre de las tres plantas carboeléctricas. Personas ocupadas. FUENTE: Ibidem.



Gráfica 12. Coahuila y resto del país: Variaciones en componentes del valor agregado, derivados de escenarios de cierre plantas carboeléctricas. Porcentaje (%). FUENTE: Ibidem.

En el escenario de salida de las tres carboeléctricas, las remuneraciones a los asalariados empleados en la minería de carbón se contraen más de un tercio del total anual (378.2 millones de pesos) y en la generación de electricidad en más de la mitad (1,165.9 millones). En el resto del país, la reducción absoluta de las compensaciones a los trabajadores es mayor (2,776.2 millones de pesos), pero proporcionalmente mucho menos importantes (-4.9%).

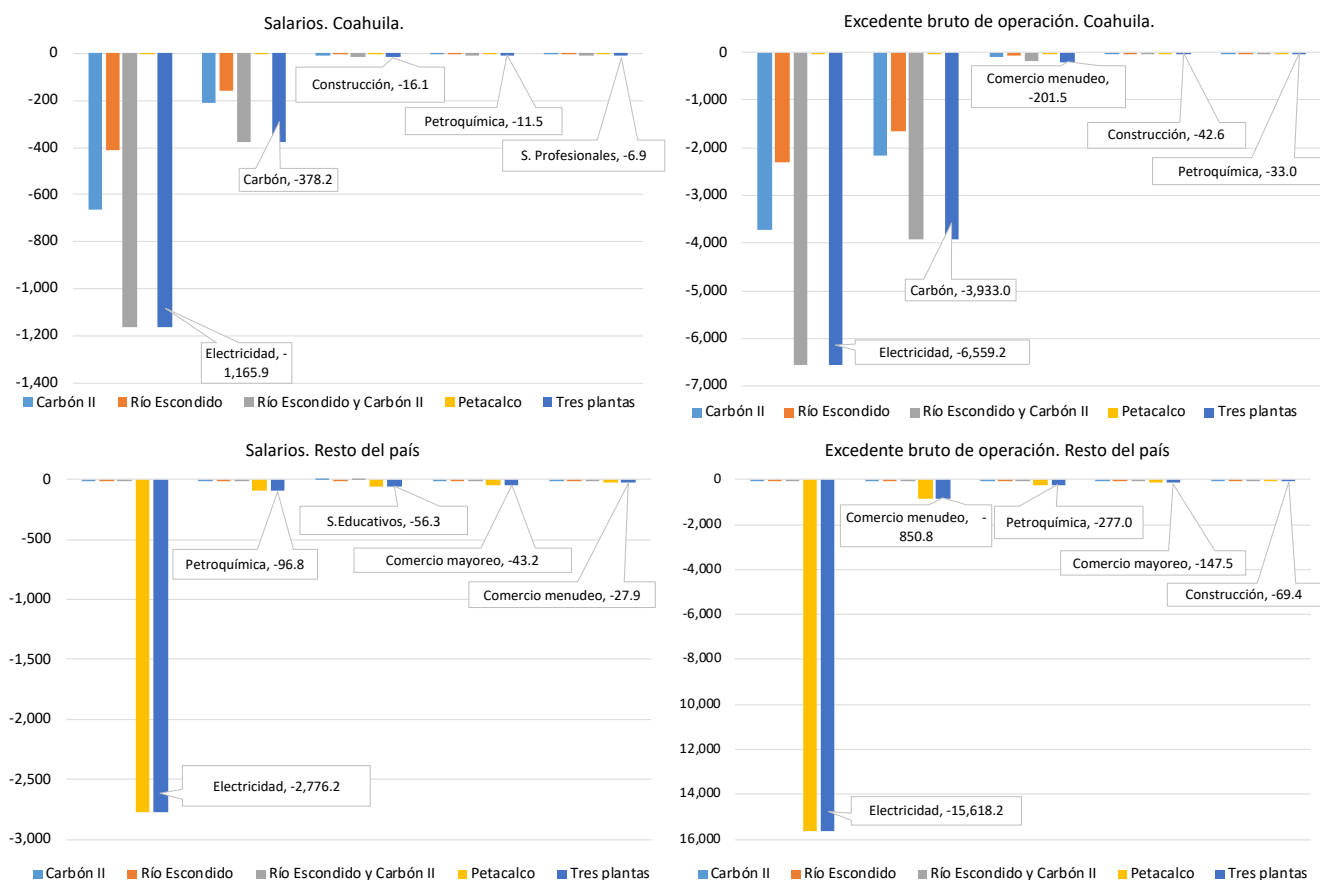
Por ser el principal componente del valor agregado, las repercusiones son de mayor magnitud en el excedente bruto de operación (utilidades antes de reservas para la amortización de capital, inversiones, pago de utilidades e impuestos). También se incluyen los ingresos mixtos brutos, que son generados en cada actividad económica por miembros de hogares que realizan sus tareas de manera independiente a las empresas legalmente constituidas. La caída más significativa en esta variable en ambos territorios ocurre en la generación de electricidad, con un monto de 6,559.2 millones de pesos en Coahuila y 15,618.2 en el resto del país. En el caso de Coahuila, la minería de carbón también registra una reducción de gran magnitud (3,933 millones de pesos). En la gráfica se presenta la in-

formación de las afectaciones sectoriales más significativas en cada variable y territorio bajo los cinco escenarios de salida del carbón aquí visualizados.

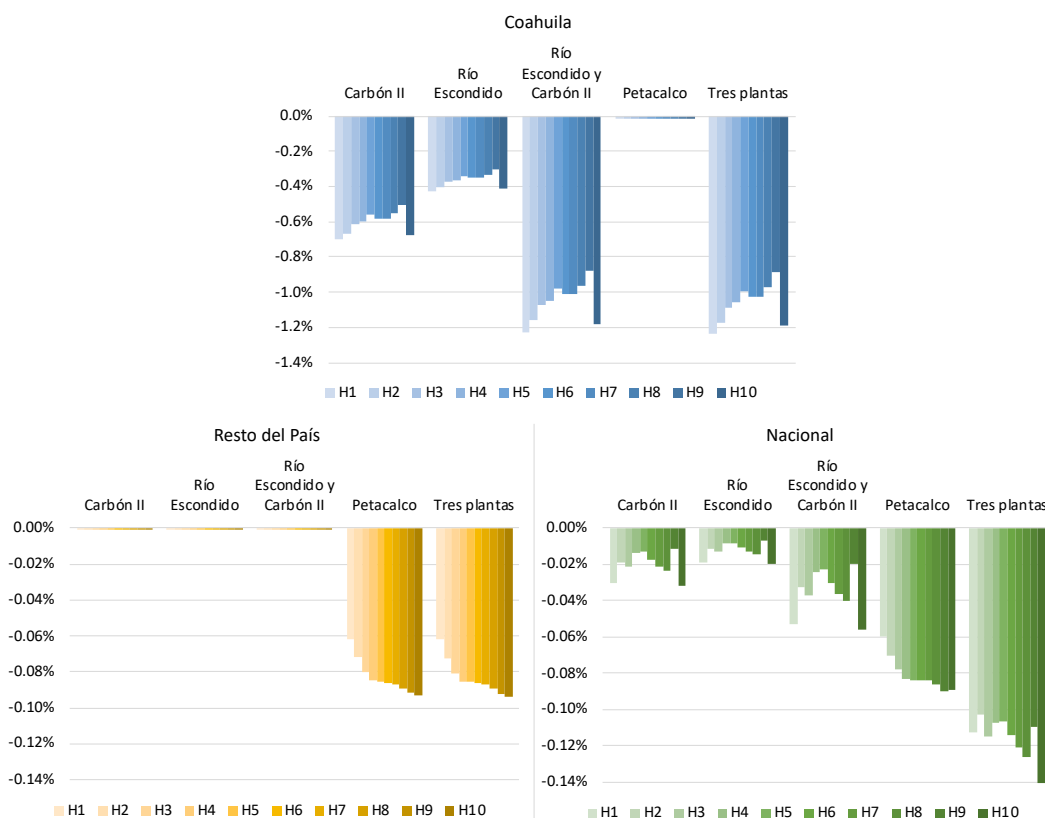
Las fluctuaciones del valor agregado alteran los flujos de integración del ingreso primario que alimenta el ingreso disponible para cubrir las necesidades de los integrantes de los hogares. **Las tres carboeléctricas que operan en México sustentan un flujo de ingreso de 20,039.5 millones de pesos en el territorio nacional. Casi un tercio de esa cantidad (31.6% o 7,596 millones de pesos) tiene como destino a los habitantes de los hogares del estado de Coahuila y el resto (12,443.5), hogares de las otras 31 entidades federativas**

En la gráfica 14 se muestran las variaciones relativas del ingreso de los hogares, desagregados en diez grupos en función de sus rangos de ingreso disponible. Además de que **los cambios son mayores en el estado de Coahuila¹¹, afectan en mayor proporción a los tres grupos de menores ingresos y al decil de ingresos superiores**. En el resto del país y al nivel nacional, los impactos relativos crecen proporcionalmente con el ingreso.

¹¹ Observar las diferencias de escala en los ejes verticales de las gráficas.



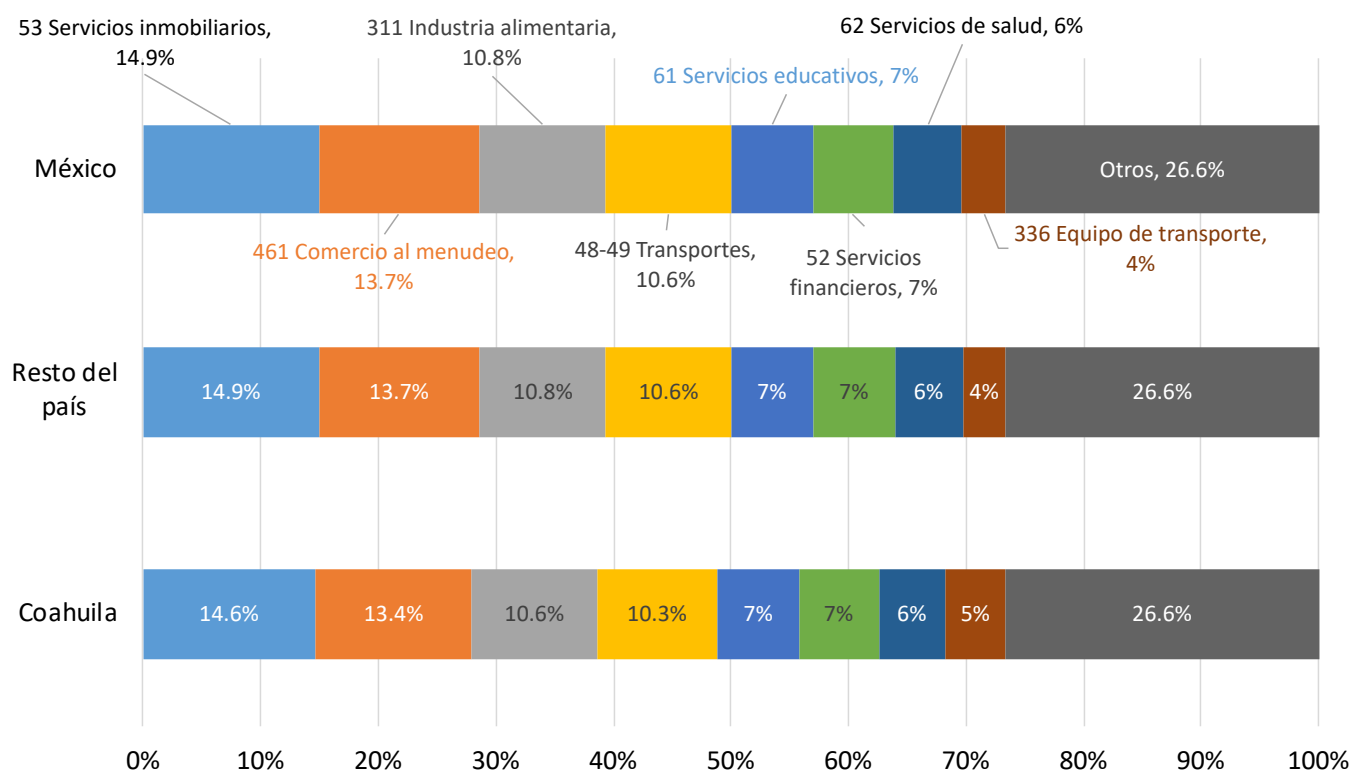
Gráfica 13. Coahuila y resto del país: Variaciones en componentes del valor agregado, derivados de escenarios de cierre de carboeléctricas. Porcentaje (%). FUENTE: Ibidem.



Gráfica 14. Coahuila, resto del país y México: Variaciones en el ingreso disponible en los hogares, derivados de escenarios de cierre de las plantas carboeléctricas. Porcentaje (%). FUENTE: Ibidem.

Menores niveles de ingreso disponible en los hogares se traducen en disminuciones en el consumo, ahorro y pago de impuestos. En el caso del estado de Coahuila, la proporción del ingreso disponible dedicada por sus hogares al consumo de bienes y servicios de origen nacional es del 63.6%, lo que nos permite estimar en un monto de 4,831.1 millones de pesos la reducción en su consumo de este tipo de bienes. La cifra ascendería a 9,083.8 millones de pesos en el resto del país, donde el consumo de bienes domésticos absorbe el 73% de su ingreso y a 14,568.7 millones en la economía mexicana en su conjunto, donde la proporción del ingreso des-

tinado al consumo doméstico es 72.7%. La gráfica 15 exhibe las estructuras de consumo en bienes y servicios de origen nacional de los hogares en los tres ámbitos espaciales abordados. Los patrones de consumo son muy similares y, con muy pequeñas variaciones, indican que los sectores económicos más afectados serían: servicios inmobiliarios, comercio al menudeo, industria alimentaria, servicios de transporte, educativos, financieros y de salud, así como la fabricación de equipo de transporte.



Gráfica 15. Coahuila, resto del país y México: Estructura de consumo privado en bienes y servicios de origen nacional. Porcentaje (%).
FUENTE: Ibidem.

Estrategias de reestructuración productiva basadas en la plataforma de agrupamientos económicos

El cierre de actividades de las plantas de generación eléctrica en base a carbón tienen efectos sectoriales y territoriales muy pronunciados en el estado de Coahuila, afectando de forma sustancial la actividad económica de ese sector en el municipio de Nava, y la de la minería de carbón térmico en los cinco municipios de la región carbonífera (San Juan de Sabinas, Múzquiz, Sabinas, Juárez y Progreso), Nava y Piedras Negras. A continuación, se describen cinco estrategias para facilitar la reestructuración económica de la región noreste del estado de Coahuila, derivada de la transición de la generación eléctrica desde el carbón hacia las fuentes renovables.

1. Impulsar las energías renovables y sus encadenamientos productivos en el Noreste de Coahuila

El potencial de generación eólica y solar del estado de Coahuila, el acelerado dinamismo observado durante el pasado quinquenio en la instalación de plantas de generación eléctrica eólica y solar, el hecho de que los costos nivelados de estas tecnologías son los más bajos en el sector y el programa indi-

cativo para el establecimiento de nuevas centrales eléctricas 2018-2032 (Prodesen, 2018) demuestran la viabilidad económica de la transición eléctrica hacia tecnologías renovables y su capacidad para coadyuvar en la necesaria reestructuración económica y social en las zonas que sufrirán los mayores efectos de esta transformación.

En la matriz energética de Coahuila del 2018 (ver tabla 1) se reporta la capacidad instalada de las dos plantas eólicas y tres solares fotovoltaicas disponibles ese año: 400 y 848 MW, respectivamente. Durante su construcción, se generaron 9,366 empleos (6,139 directos y 3,227 indirectos) y en su operación, soportan 791 puestos de trabajo (402 directos y 388 indirectos)¹².

En el programa indicativo para la instalación de centrales eléctricas 2018-2032, desarrollado por la Sener en el marco del Prodesen 2018, se contemplaron 14 plantas eólicas, con una capacidad de 1,858 MW, y nueve solares fotovoltaicas, con capacidad de 1,490 MW. De las 14 plantas eólicas, cinco, con una capacidad acumulada de 730 MW, se proyectaron para instalarse en Río Escondido (ver tabla 3).

Tecnología	Capacidad MW
Ciclo combinado (1)	30
Carboeléctricas y lecho fluidizado (2)	589
Eólicas (14)	1,858
Fotovoltaicas (9)	1,490
Bioenergía (3)	37
TOTAL	4,004

Tabla 3. Coahuila: Capacidad adicional de generación eléctrica. 2018-2032. (MW). FUENTE: Prodesen 2018.

¹² Agradecemos a la AMDEE y ASOLMEX por proporcionarnos la información relativa a las plantas con estas tecnologías operando, en pruebas, o en construcción en el estado de Coahuila, así como los factores de empleos directos e indirectos vinculados a su construcción y operación).

Para el estado en su conjunto, la construcción de las centrales eólicas y solares representaría la creación de 20,754 empleos (13,674 directos y 7,079 indirectos), en tanto su operación, generaría 2,106 puestos de trabajo permanentes (938 directos y 1,168 indirectos). La construcción de las cinco plantas eólicas contempladas en este programa para establecerse en Río Escondido ofertarían 2,716 empleos (1,825 directos y 891 indirectos), mientras que su operación requiere 453 trabajadores (146 directos y 307 indirectos).

En este sentido, será necesario diseñar programas de capacitación para facilitar la transferencia de la fuerza laboral empleada en las centrales carboeléctricas hacia las plantas generadoras de electricidad renovable. Las asociaciones de la industria eólica y solar, así como el clúster energético y las universidades del estado podrían actuar como agentes claves para generar opciones de capacitación para: ingenieros y técnicos para operar y mantener las centrales de generación renovables, contratistas y proveedores de materiales para participar en la construcción de las mismas, especialistas en el cuidado del medio ambiente y las relaciones con comunidades para asegurar la sostenibilidad de las inversiones, por mencionar algunos.

Debe privilegiarse el desarrollo de infraestructura para la generación solar y eólica en los siete municipios del noreste de Coahuila, fortaleciendo la presencia estatal y regional de los eslabones de su cadena de valor, especialmente aprovechando las ventajas competitivas del estado en la manufactura en general y en el clúster metalmecánico en particular, para fortalecer las cadenas de valor en la proveeduría de partes y componentes para la industria de las energías renovables (paneles, cables, torres, generadores).

La coyuntura es favorable para impulsar estas actividades en el marco del nuevo tratado comer-

cial en la región Norteamérica y de la tendencia desencadenada por las políticas proteccionistas y la pandemia por Covid-19, para reducir las distancias geográficas en las cadenas de proveeduría. La dinámica de crecimiento en las exportaciones manufactureras observada durante la vigencia del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte) es evidencia clara de que México en general, y Coahuila de forma muy específica, poseen una fuerza laboral muy competitiva en este tipo de actividades productivas. Estas políticas pueden estructurarse en torno al cluster de la energía, el cual tiene presencia activa en el estado de Coahuila.

2. Promover la conformación del cluster del carbón y articular políticas de mejora en la competitividad basadas en las innovaciones productivas, fortaleciendo sus encadenamientos con la industria siderúrgica y diversificando sus mercados

Este esfuerzo sería insuficiente para compensar integralmente los efectos económicos descritos en este ensayo, especialmente en el sector de minería de carbón. Debe complementarse con estrategias de diversificación de mercados y actividades productivas, basadas en la plataforma de agrupamientos de actividad económica (*clusters*).

La diversificación basada en actividades aisladas, tiene pocas posibilidades de prosperar en una economía mundial con los grados de apertura existentes en la actualidad, pues las economías de escala y localización necesarias para alcanzar los niveles de competitividad exigidos, son difícilmente accesibles por esa vía. Por lo anterior, las estrategias de competitividad en la actualidad se apoyan en la conformación de sistemas regionales de innovación estructurados en torno a los *clusters* de actividad económica y con la cooperación de los agentes económicos e instituciones públicas, académicas y sociales presentes en los territorios.

La información de las transacciones económicas que realizan los sectores productivos entre sí, es decir, la compra-venta de insumos intermedios, tanto de origen local o importado de otras regiones o países, para llevar a cabo sus actividades productivas, nos permite determinar las cadenas de valor presentes en los territorios, su importancia y potencialidad de desarrollo. Esta información está disponible en las matrices de insumo-producto y es proporcionada en México por el Inegi. Con estos datos, y técnicas de análisis estadístico multivariado, se identificaron los clusters de actividad económica presentes en los distintos territorios (en nuestro caso, los ámbitos espaciales ya definidos previamente, a los cuales añadimos los municipios de la región carbonífera, Nava, Piedras Negras y el estado de Guerrero). Por razones de espacio, concentramos nuestra descripción en el estado de Coahuila, pero los resultados de este ejercicio para los otros ámbitos espaciales pueden ser consultados por los interesados¹³.

Específicamente, se utilizó la información de las transacciones intermedias sostenidas entre las 361 clases de actividad económica del sector industrial

de la economía mexicana. Con estos datos se identificaron 39 *clusters* de actividad económica. Debido a la cláusula de confidencialidad, hay siete agrupamientos en los cuales no se reporta información y hay clases de actividad en los *clusters* restantes en que, por la misma razón, no se disponen datos de toda la actividad desplegada en las mismas. Las gráficas 16 (arriba y abajo) muestran la participación de los principales clusters de la economía de Coahuila en la producción bruta total (PBT, en el eje de las “x”), el valor agregado (VA, en el eje de las “y”) y el empleo (proporcional al tamaño de la burbuja). En el gráfico superior figuran los cuatro clusters más importantes: metalmecánica, automotriz, prendas de vestir y electrónica, los cuales concentran un tercio del PBT y poco menos del 30% del VA y el empleo. En el inferior, se modifican los ejes para tener un acercamiento al resto de los agrupamientos presentes en la economía coahuilense. Se pueden observar 9 *clusters* más, cuya participación conjunta en las variables contempladas se aproxima al 9%: acumuladores y pilas, plástico y hule, energía, suministro de agua por ductos, fundición de piezas metálicas,

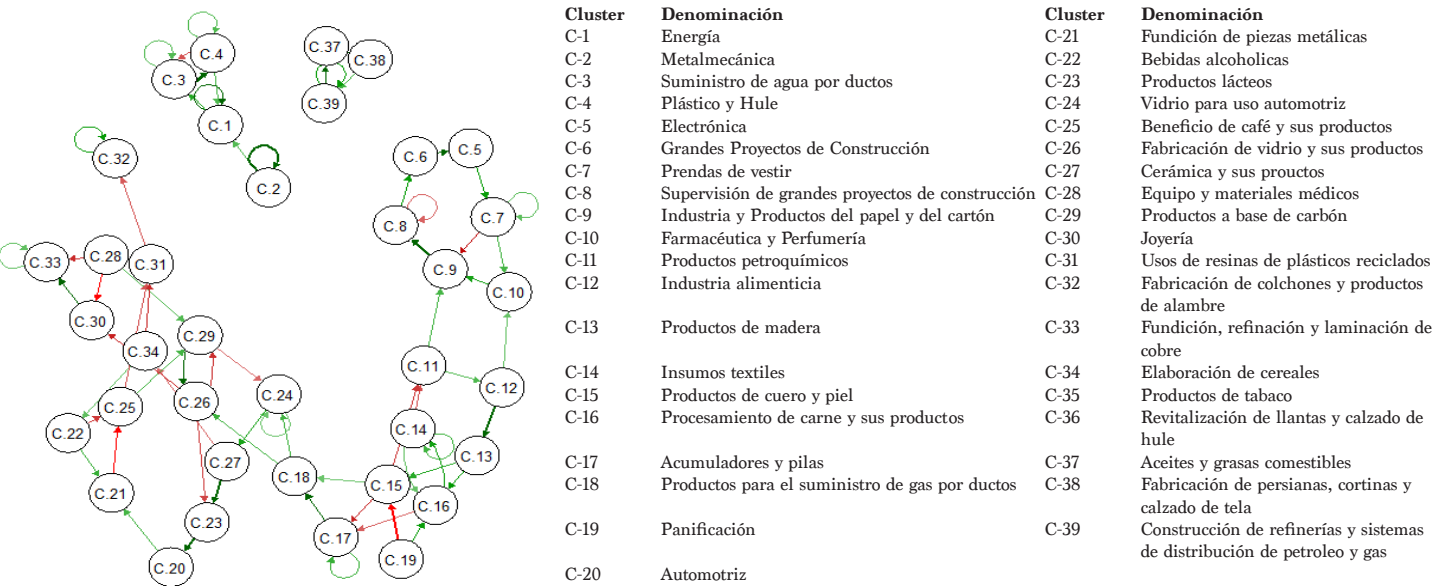


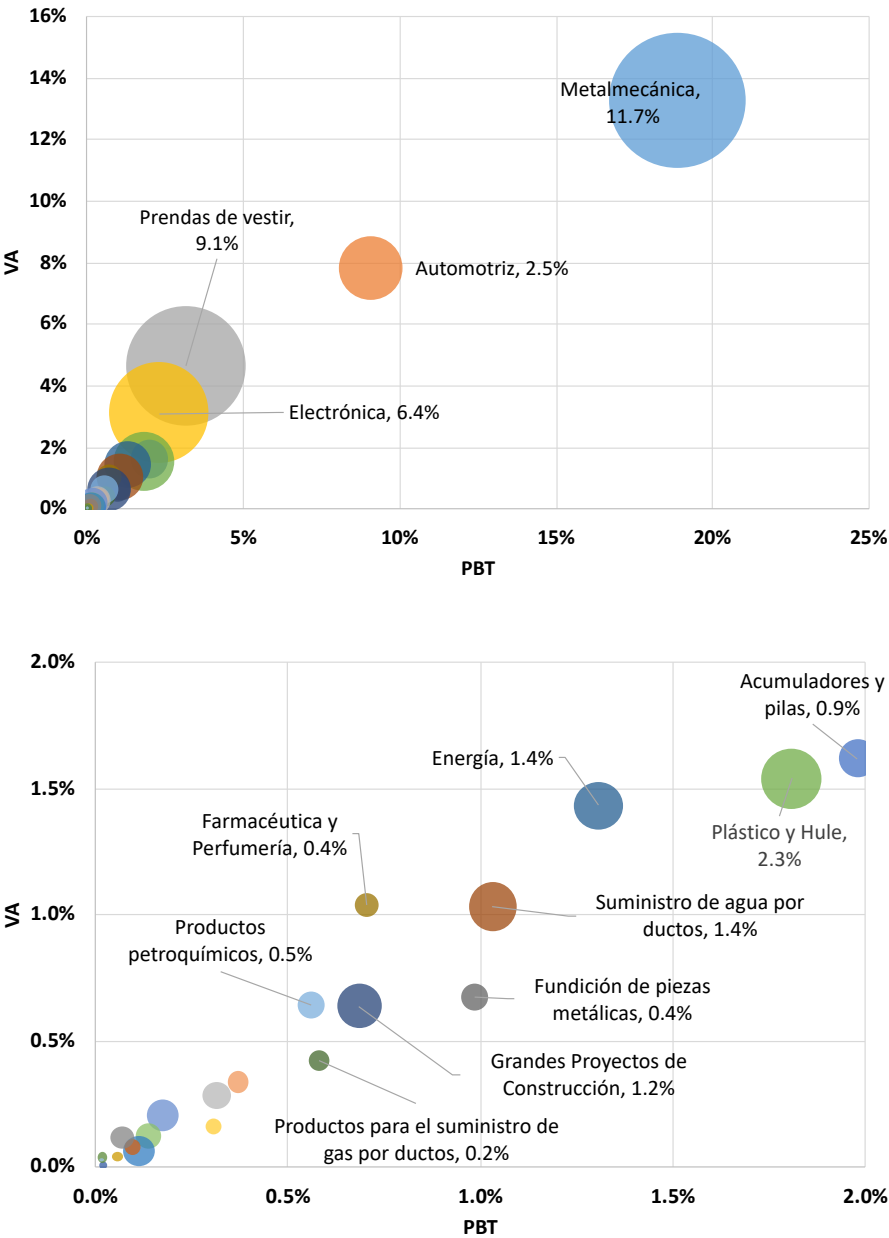
Figura 2. Coahuila: Representación gráfica de los clusters industriales y sus relaciones.
FUENTE: Elaboración propia basada en la matriz de insumo-producto y los censos económicos del Inegi.

farmacéutica y perfumería, grandes proyectos de construcción, productos para el suministro de gas por ductos y productos petroquímicos. En conjunto con el grupo anterior, concentran el 43% del PBT, el 28.9 del VA y el 29.7 del empleo.

La figura 2 nos brinda una representación visual de los 39 agrupamientos, cuya denominación se muestra en la tabla ubicada a la derecha. Cada *cluster* se representa mediante un círculo cuyo número permite identificarlo. Este gráfico reproduce las correlaciones más relevantes existentes en-

tre los agrupamientos. Las líneas verdes indican correlación positiva y las magenta, negativa. La punta de la flecha apunta al destino de la causalidad y su grosor simboliza una mayor intensidad en la correlación. Los bucles ilustran los *clusters* con los mayores niveles de autocorrelación.

La transición del carbón a las energías renovables en la producción de electricidad, representa la pérdida del 45% del mercado de carbón para esta actividad extractiva en Coahuila. Una forma de compensarla sería la diversificación de su



Gráfica 16. Coahuila: Participación de sus agrupamientos industriales en la producción bruta total, el valor agregado y el empleo (%). FUENTE: Elaboración propia basada en la matriz de insumo-producto y los censos económicos del Inegi.

mercado. En esta perspectiva, **el fortalecimiento de la producción de acero es de importancia estratégica para la minería del carbón, pues representa el 43% de su mercado. De igual forma, deben explorarse nuevos mercados para el carbón y la posibilidad de sustitución de importaciones de productos de carbón y grafito, pues más de un tercio de las compras intermedias de estos productos son de origen importado.** Entre los mercados con mayor potencial figuran los montos de las compras intermedias de productos de carbón y grafito realizadas por las siguientes actividades económicas: fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos (\$812 millones de pesos), fabricación de fertilizantes (\$726.4), fabricación de desbastes primarios y ferroaleaciones (\$280), fabricación de tubos y postes de hierro y acero (\$209.4), fabricación de coque y otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral (\$ 200), fabricación de productos eléctricos de carbón y grafito (\$73.5), fabricación de otros productos químicos (\$32.5), fabricación de otros productos a base de minerales no metálicos (\$9.8), fabricación de otros instrumentos de medi-

ción, control, navegación, y equipo médico electrónico (\$5.3), fabricación de ladrillos no refractarios (\$3.9), fabricación de envases y ampollitas de vidrio (\$2.9), moldeo por fundición de piezas de hierro y acero (\$2.8), otros servicios relacionados con la minería (\$2.2), fabricación de maquinaria y equipo para la construcción (\$1.2).

Esto puede hacerse a través de la promoción del cluster de productos a base de carbón, integrado por cuatro clases de actividad económica (*ver tabla 4*) y el cual registra acción incipiente en el estado, donde se identifican cuatro establecimientos económicos, de los cuales no tuvimos acceso a la información sobre su nivel de actividad económica en razón de la cláusula de confidencialidad.

3. Diversificar la estructura productiva de la región noreste de Coahuila estructurando y fortaleciendo los agrupamientos económicos con presencia en la zona

La tercera estrategia sería la diversificación de las actividades productivas de la región, promoviendo

Clase de actividad: Código y descriptor	Primario	Secundario	Terciario	Factor carga
335991 - Fabricación de productos eléctricos de carbón y grafito	30			0.846
324199 - Fabricación de coque y otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral	30			0.821
331111 - Complejos siderúrgicos	30		3	0.665
327320 - Fabricación de concreto	6		30	0.368

Tabla 4. Coahuila: Composición del cluster, Productos a base de carbón.
FUENTE: Elaboración propia basada en la matriz de insumo-producto y los censos económicos del Inegi.

la inversión y la sustitución de insumos importados (tanto de otras partes del país como del resto del mundo) en agrupamientos económicos con potencial de desarrollo en la zona. A medida que nos ocupamos de territorios más acotados y con menor nivel de actividad económica, aumentan las restricciones de acceso a información por razones de confidencialidad. No obstante lo anterior, con los datos disponibles **para los cinco municipios de la región carbonífera, Nava y Piedras Negras, además de los clusters de las energías renovables y el carbón, se destaca la presencia de otros cuatro: metalmecánica, acumuladores y pilas, electrónica y prendas de vestir. Estos cinco agrupamientos concentran el 39.8% del PBT, el 25.9% del VA y el 30.5% del empleo en esos municipios.**

En estos cinco agrupamientos se recomienda solicitar acceso a los microdatos de los censos económicos de las clases de actividad que los conforman, dimensionar los mercados de compra y venta de insumos de las mismas, utilizar esta información para impulsar políticas de promoción de inversión y sustitución de importaciones en aquellas actividades que tienen una participación local inferior al promedio nacional.

4. Alentar programas de desarrollo de proveedores en las empresas ancla del noreste de Coahuila

Una cuarta estrategia es aprovechar la presencia de empresas ancla localizadas en la zona, como la cervecería asentada en Nava, para fortalecer los programas de desarrollo de proveedores.

5. Promover el desarrollo de la agricultura altamente tecnificada en ambientes controlados y los encadenamientos del sector primario con las agroindustrias

Finalmente, una quinta estrategia sería impulsar el desarrollo de una agricultura altamente tecnificada a través de la promoción de inversión para el establecimiento de invernaderos que empleen la hidroponía, energías renovables y un bajo uso de pesticidas, en la producción de alimentos y flores de ornato de alto valor, aprovechando la cercanía al mercado norteamericano. También podría vincularse la producción del sector primario con los clusters relacionados del sector industrial: industria alimenticia, procesamiento de carne y sus productos, panificación, bebidas alcohólicas, productos lácteos, elaboración de cereales y aceites y grasas comestibles. Esta orientación del desarrollo permitiría salvaguardar y usar con sabiduría un recurso escaso y valioso de la región: el agua potable; evitando su despilfarro en actividades de enclave que comprometen su disponibilidad en el futuro, por los potenciales impactos adversos sobre el medioambiente (por ejemplo, en la extracción de hidrocarburos mediante técnicas de fracturación hidráulica). Resulta más sensato emplear este bien en actividades sostenibles, intensivas en creación de empleo y con alta capacidad de generación de valor agregado.

Estas estrategias deben ser cuidadosamente planeadas e instrumentadas, con una colaboración transparente y respetuosa de los distintos actores del desarrollo.

Conclusiones

La rápida descarbonización del transporte y las industrias de la energía es indispensable para alcanzar las metas de reducción de GEI establecidas por México ante la COP21. En el caso del sector eléctrico, es necesaria una transición fluida desde tecnologías de generación de electricidad con combustibles fósiles, hacia alternativas basadas en energías limpias y renovables. Por voluntad propia y ante la perspectiva de las graves consecuencias del cambio climático, México estableció compromisos específicos ante la comunidad internacional. Como parte de los mismos, se plantea la sustitución de las centrales eléctricas que operan con carbón por plantas con bajas emisiones de GEI.

En el estado de Coahuila operan dos plantas carboeléctricas que utilizan carbón producido en un 99% en la propia entidad, en una actividad que proporciona empleo e ingreso a miles de hogares establecidos en el noreste de Coahuila. Esta circunstancia agrava las consecuencias económicas y sociopolíticas de una transición justa hacia fuentes de generación ambientalmente sustentables.

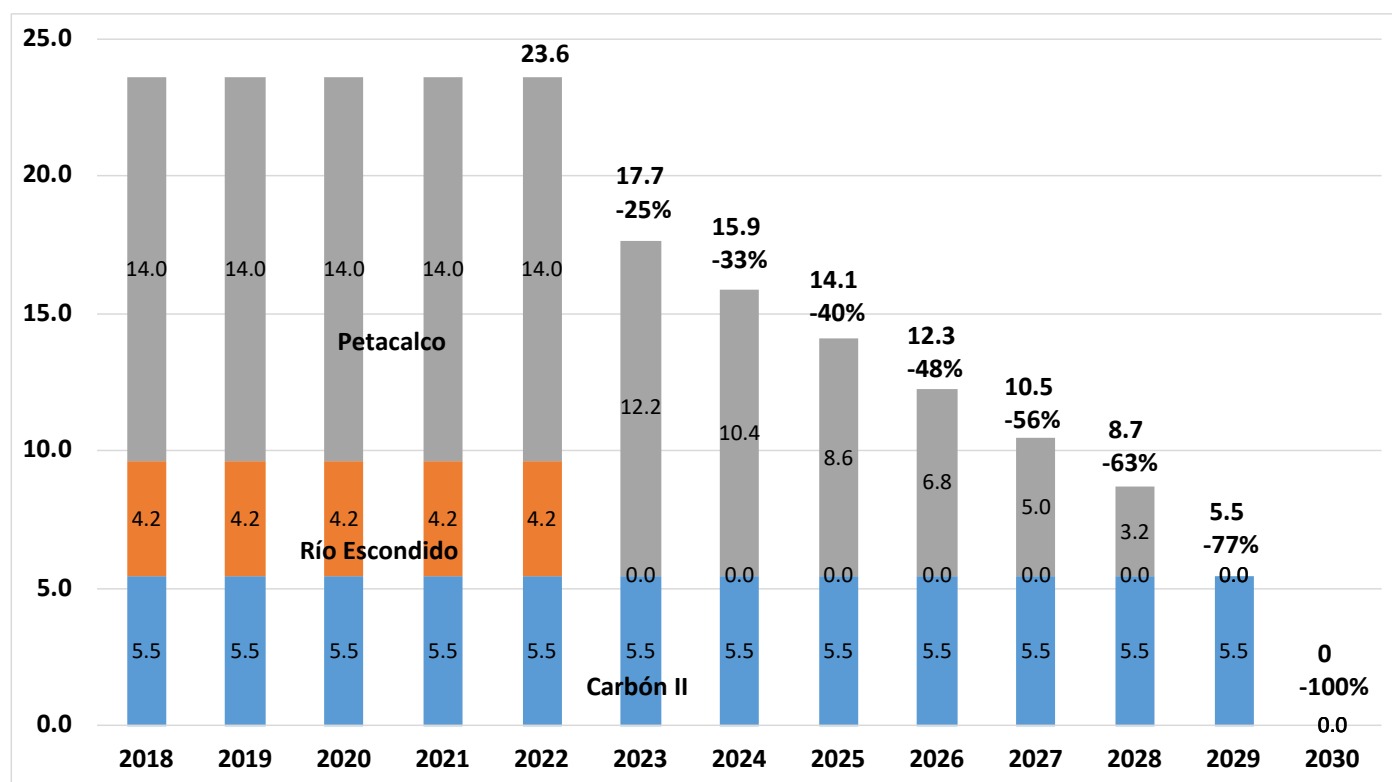
Estas instalaciones tienen una vida útil de 40 años. De las dos plantas localizadas en Nava, la denominada Río Escondido inició operaciones en septiembre de 1982, en tanto la de Carbón II lo hizo en noviembre de 1993. De forma que la primera está próxima a cubrir su ciclo productivo, en tanto a la segunda le restan 13 años más.

Por su parte, la planta de Petacalco (Guerrero) puede operar alternativamente con combustóleo y carbón. De hecho, durante la redacción de este reporte, se dio a conocer la decisión de cambiar su fuente de energía primaria de carbón a combustóleo. La razón esgrimida fue el alto costo del carbón importado. Si el costo de generar electricidad con combustóleo es menor, existe una lógica económica en esta decisión, pues se beneficiaría a la CFE y a Pemex, en la medida en que esta última dispondría de una opción de mercado para un combustible que está siendo desplazado por razones ambientales. Asimismo, las emisiones de GEI bajarían marginalmente, pero no sería una solución adecuada para atender los compromisos asumidos por México¹⁴. La central de Petacalco arrancó en la misma fecha que Carbón II, por lo cual le restan 13 años de vida útil.

Estos elementos deben ser considerados en la agenda de la transición justa del carbón hacia las energías limpias¹⁵. **Desde la perspectiva económica y social, y contemplando un escenario de 10 años para realizar la transición justa del carbón a renovables, proponemos: en una primera etapa, a fines del 2022, la salida de la planta de Río Escondido. En una segunda fase, que arrancaría al inicio del 2023, cerrar cada año una de las siete unidades disponibles en Petacalco. Finalmente, concluir el proceso con el cierre de Carbón II, en la fecha contemplada en el Prodesen 2018, es decir, en el año 2029.** La gráfica 17 muestra la evolución de las emisiones de GEI de las plantas carboeléctricas en México bajo este calendario de transición.

¹⁴ Las emisiones de GEI por exajulio (1 millón de Terajulios) de energía primaria consumida de gas natural y carbón fueron de 56.1 y 94.6 MTCO_{2e}, respectivamente (Statistical Review of World Energy, junio del 2020, <http://www.bp.com/statisticalreview>), en tanto, como se reporta en la nota 1, las emisiones de GEI por kWh de electricidad generado son sensiblemente mayores (79.8%) en las plantas de carbón que en las más eficientes de ciclo combinado operando con gas natural.

¹⁵ Otro elemento que requiere un análisis objetivo es la definición de las condiciones técnicas y los costos asociados a las mismas, derivados de la incorporación de las energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional. Se destacan tres aspectos: 1. la intermitencia de las renovables; 2. el respaldo de rápida sustitución para estas plantas y; 3. sus condiciones de acceso a la red pública de transmisión en alta tensión.



Gráfica 16. Escenario propuesto: Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero por la generación de electricidad con carbón en México. Millones de toneladas de CO₂e y reducción porcentual (%).
FUENTE: Elaboración propia con información del INECC y del Prodesen 2018.

Esta estrategia de salida del carbón permitiría:

1. La amortización total de la planta de Río Escondido, la cual se cumple en el año 2022, y porcentajes elevados de aprovechamiento de la vida útil programada para las plantas de Carbón II (90%) y Petacalco (alrededor del 80%).

2. Abrir un espacio temporal para impulsar los programas de **reestructuración productiva** que faciliten la transición del carbón a las energías limpias y el impulso de actividades económicas de reemplazo en las regiones afectadas (noreste de Coahuila y Petacalco, en el municipio de la Unión, en el estado de Guerrero).

3. Conservar un nivel de actividad cercano al 60% en la extracción de carbón térmico nacional hasta el año 2029 en la región más vulnerable al cierre de las plantas de generación eléctrica con ese mineral (los municipios de la región carbonífera, Piedras Negras y Nava, en el noreste del estado de Coahuila).

A fin de compensar la pérdida de empleos en el sector de generación de electricidad, debe seguir alentándose el establecimiento de plantas eólicas y solares en el estado, con especial énfasis en las regiones en las cuales están asentadas actualmente las carboeléctricas. El objetivo sería reemplazar el mayor número posible de empleos en las mismas actividades de generación de electricidad, pero basadas en el uso de tecnologías limpias.

De igual forma, debe promoverse la integración local de las cadenas de valor de las nuevas tecnologías de generación, en particular las fases de manufactura de partes y componentes, las cuales coinciden con las vocaciones productivas del estado y se benefician de condiciones muy favorables de acceso a mercado.

Para impulsar esta agenda de desarrollo de cadenas de valor se sugiere fortalecer el *cluster* de la energía, con una colaboración horizontal entre sus principales actores y las instituciones y agentes del entorno, tanto públicas como privadas.

Apuntalar el complejo siderúrgico de AHMSA en Monclova, pues representa un mercado importante que puede coadyuvar a amortiguar la caída de la actividad minera por la menor demanda de carbón térmico. Si la producción de acero retoma sus niveles de producción del 2014, las ventas de carbón de coque pueden repuntar en un 80%, compensando los efectos de la contracción del mercado para el carbón térmico. Esto sería especialmente importante para los municipios de la región carbonífera, donde se localizan los yacimientos de carbón sub-bituminoso empleados en la producción de carbón de coque. En paralelo, debe impulsarse la adopción de tecnologías de captura de carbono en los procesos de fundición de acero primario.

De igual forma, se sugiere formalizar la organización del cluster de productos de carbón y estimular su crecimiento mediante estrategias de diversificación de mercados basadas en políticas de promoción de inversión y sustitución de importaciones para tratar de penetrar el mercado de compras de productos de carbón y grafito de origen importado. Además de impulsar estas políticas, este agrupamiento debe promover una agenda de impulso a la competitividad basada en las innovaciones.

Estrategias similares deben emprenderse en la región noreste de Coahuila para diversificar las actividades productivas de la región, alentando la inversión, estimulando políticas de sustitución de importaciones e impulsando la productividad en las actividades económicas con potencial de crecimiento en los clusters con mayor presencia en la zona: además del agrupamiento de energía, se observa actividad en los siguientes agrupamientos; metalmecánica, acumuladores y pilas, electrónica y prendas de vestir.

Se recomienda fortalecer las acciones de desarrollo de proveedores en las empresas ancla presentes en esa región, como la cervecería de Nava (Coahuila).

Finalmente, se recomienda destinar un recurso escaso y valioso (agua) en usos sustentables, in-

tensivos en creación de valor y fuentes de trabajo: producción agrícola intensiva en invernaderos, articulando su producción con las empresas agroindustriales y alimentarias de la región, a fin de incrementar los niveles locales de valor agregado.

Al momento de redactar las conclusiones de este estudio, el Poder Legislativo está procesando las modificaciones a la Ley de la Industria Eléctrica, una iniciativa preferente turnada por el titular del Poder Ejecutivo Federal. Ésta propone modificaciones importantes en el marco normativo y operativo del sector, vigente desde la aprobación de la reforma energética. Un aspecto central de la propuesta contempla la modificación de los criterios de despacho de las centrales eléctricas, distorsionando la efectividad del sistema de precios como mecanismo de asignación en ese mercado. Considerando los costos nivelados de generación de las distintas tecnologías, así como las emisiones de GEI asociados a las mismas, estas disposiciones inducirían un cambio en la matriz de generación eléctrica, favoreciendo a las tecnologías basadas en el uso de combustibles fósiles y penalizando a las renovables. Como resultado de lo anterior, aumentarían los costos de generación eléctrica y las emisiones asociadas de GEI, comprometiendo los compromisos asumidos por México en la COP21 y minando la competitividad de las actividades económicas realizadas en México.

De aprobarse en sus términos esta ley, se anticipa una avalancha de litigios en las cortes del país y en las instancias internacionales por los compromisos y acuerdos comerciales firmados por México con otras naciones y con organismos internacionales.

El acelerado proceso de cambio tecnológico en la generación de electricidad con fuentes renovables, así como en los sistemas de almacenamiento de energía, anticipan la inviabilidad en la nueva orientación de la política energética. Su prolongación en el tiempo elevará sus costos y someterá a una tensión innecesaria las relaciones con los principales socios comerciales del país. •

Referencias

- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), 2021.
Desarrollo de un programa de capacitación, presentación ejecutiva.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2015. *Copar 2015. Generación*, CFE, México, 186 p.
- Comisión Nacional de Control de Energía (Cenace), 2018.
Informe de tecnología de generación de referencia, Cenace, México, 27 p.
- Comisión Nacional de Control de Energía (Cenace), 2019.
Programa de ampliación y modernización de la red nacional de transmisión y redes generales de distribución del mercado eléctrico mayorista, PRODESEN 2019-2033, Cenace, México, 576 p.
- Dávila Flores, Alejandro (Coordinador). 2019.
Modelos económicos de las regiones de México, Editorial Miguel Ángel Porrúa y Universidad Autónoma de Coahuila, México, D. F., julio, pp. 1-323.
- Global Green Growth Institute, 2020.
Employment assessment of renewable energy: Power sector pathways compatible with NDCs and national energy plans, Ed. Global Green Growth Institute, June, Republic of Korea, 100 p.
- Iniciativa Climática México (ICM), 2020.
Ruta para la sustitución progresiva y justa del carbón en la generación eléctrica en México, ICM, Ciudad de México, mayo, 123 p.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático –INECC–, 2018.
Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (Resultados. Presentación), INECC, mayo 2018.
- IPCC, 2006. <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>, tabla 1, p. 28.
- Lazard, 2019.
Lazard's levelized cost of energy analysis -version 13.0, Executive presentation, Lazard, November.
- Secretaría de Energía –SENER–, 2018.
Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional (PRODESEN) 2018-2032, Secretaría de Energía, México, 318 p.
- Servicio Geológico Mexicano, 2017.
Programa minero del estado de Coahuila, Secretaría de Economía y SGM, México, diciembre, 47 p.
- Servicio Geológico Mexicano, 2019.
Anuario estadístico de la minería mexicana, Secretaría de Economía y SGM, , Pachuca, Hidalgo, 544 p.

Centro de Investigaciones Socioeconómicas

El Centro de Investigaciones Socioeconómicas (CISE) de la Universidad Autónoma de Coahuila (UA de C), ofrece estudios de maestría y doctorado en Economía Regional, los cuales forman parte del padrón Nacional de Posgrados de Calidad del Conacyt. Su núcleo académico realiza investigación científica aplicada en temas de economía regional, ambiental y de los recursos naturales, con difusión y reconocimiento nacional e internacional.

WWF México

World Wildlife Fund (WWF) es la organización de conservación líder en el mundo. Fue creada en Suiza en 1961 y actualmente tiene presencia en más de 100 países. En México, WWF contribuye a conservar las riquezas naturales, impulsar políticas públicas innovadoras y asegurar prácticas de negocios más sostenibles. En el área de clima y energía, se enfoca en catalizar la acción climática para cumplir las metas del Acuerdo de París y acelerar la transición hacia una economía baja en carbono.

