



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Economía

División de Estudios Profesionales

**UTILIZACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y NO
RENOVABLE EN MÉXICO:
UN ANÁLISIS INTER-SECTORIAL CON UN MODELO
HÍBRIDO DE INSUMO-PRODUCTO**

TESIS

Que para obtener el título de
Licenciado en Economía

Presenta

Andrea Guadalupe Larios Vázquez

Asesor: Dr. Carlos A. López-Morales

México. D.F, agosto de 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a las distintas personas que a lo largo de este camino me han apoyado y de las cuales he aprendido muchísimo, sin ellas este trabajo no hubiera sido posible.

Le doy las gracias a mi hermana Diana que sin su apoyo incondicional la aventura en la UNAM no hubiera sido posible, por aguantar todos mis berrinches desde niña y ser mi compañera de vida. A mis padres, por su amor, dedicación y enseñanzas, gracias mamá por enseñarme a ser fuerte, gracias papá por enseñarme a ser persistente. Siempre estaré en deuda con mis tías, Rosa y Silvia que me permitieron vivir en su casa, que por su cariño y cuidados me sentí como en casa.

Quiero agradecer a Flor y Jenny por su infinita amistad a lo largo de estos cinco años, por siempre hacerme reír, compartir prácticamente todo y ser un equipo. A Irving por creer en mí cuando yo no lo hice, e impulsarme a seguir mis sueños, y a mis demás amigos Emilio, Yutzil, Bárbara, Jessica, Lizet y Edith, por sus consejos y por formar parte de mi vida universitaria.

Al colectivo Voluntarios Verdes por permitirme donar mi tiempo, talento y trabajo en distintas actividades que forjaron mi pasión por lo ecológico, así como a las personas que conocí, son un ejemplo a seguir. A Rosario Fernández por darme la oportunidad de ingresar a la Fundación Roberto Pla Inchausti, que no sólo me permitió ser una estudiante de tiempo completo, sino que además en ella conocí grandes amigos, no economistas, con los que aprendí y tuve experiencias únicas. Gracias Pao, Ale, Mariana, Sandy, Ricardo y más por hacerme reír y escucharme.

Por último quiero agradecer al Seminario de Credibilidad Macroeconómica y a cada uno de sus integrantes que me ha visto crecer académicamente, en especial a los profesores Carlos López Morales y Hugo Contreras por ser mis mentores y amigos, gracias por su infinita paciencia, creer en mí y por ser un ejemplo a seguir.

Utilización de energía renovable y no renovable en México: Un análisis inter-sectorial con un modelo híbrido de insumo-producto

Capítulos

I.	La sustentabilidad energética, definición, retos y perspectivas.....	15
II.	El sistema energético en México.....	27
III.	Modelación insumo-producto con la matriz energética.....	41
IV.	Modelo unidades híbridas en la economía mexicana.....	52

Contenido

Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo I. La sustentabilidad energética, definición, retos y perspectivas	15
A. El cambio climático y la finitud del recurso.....	15
1. El cambio climático.....	15
2. Pico de Hubbert y decrecimiento de la producción petrolera.....	16
3. Sobre las emisiones	17
B. Principales retos globales y transición energética	18
1. Agenda energética	18
2. Evolución energética	19
C. Sustentabilidad y eficiencia energética	20
1. Definición de sustentabilidad energética.....	20
2. Medición.....	20
3. Eficiencia energética	22
D. Análisis de insumo-producto a través del LCA en la ecología industrial.....	24
1. La ecología industrial	24
2. Aplicación	25
3. Limitaciones y ventajas	26
Capítulo II. El sistema energético en México.....	27
A. Panorama general	28
1. El balance energético mexicano	28
2. Producción de energía	29
3. Consumo de energía	31
B. Intensidad energética.....	32
1. Evolución agregada	32
2. Evolución sectorial	32
C. La explotación petrolera.....	34
1. Evolución de la explotación petrolera	34
2. Dependencia fiscal	35
3. Panorama actual	38
D. Potencial de las renovables.....	38
1. El Inventario Nacional de Energía Renovable	38
Capítulo III. Modelación insumo-producto con la matriz de energía	41
A. Modelación básica de insumo-producto.....	41
B. Matriz de insumo-producto de energía.....	44
1. La matriz de flujo energético.....	44
2. Condición de conservación de energía y costo energético	45

3.	Construcción básica de la matriz en unidades híbridas	47
C.	Ejemplificación con una economía de 3 sectores	48
Capítulo IV. Modelo unidades híbridas en la economía mexicana		52
A.	Fuentes y distribución de la Oferta Bruta de Energía.....	52
1.	Fuentes domésticas y externas de la oferta bruta de energía	52
B.	Condición de conservación de energía	54
1.	Identidad de conservación	54
C.	Matriz de flujo energético	56
1.	Matriz de flujo energético completa.....	56
D.	Resultados de la modelación	57
1.	Matriz de coeficientes directos de energía	57
2.	Matriz de coeficientes totales de energía.....	59
Conclusiones		64
Anexo A. Sobre la construcción de la matriz de flujo energético.....		68
Anexo B. Construcción de las matrices		72
Referencias.....		86

Índice de tablas y gráficos

Tablas

TABLA 1 FUENTES Y PRODUCTOS DE ENERGÍA.....	29
TABLA 2 CONSUMO DE ENERGÍA POR SECTOR Y TIPO DE ENERGÍA, 2013	31
TABLA 3 INTENSIDAD ENERGÉTICA EN LOS SECTORES ECONÓMICOS, 2013.....	34
TABLA 4 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR ENERGÍAS RENOVABLES, 2014.....	40
TABLA 5 COMPOSICIÓN DE LAS MATRICES HÍBRIDAS	47
TABLA 6 ECONOMÍA DE TRES SECTORES ENERGÉTICOS Y UNO NO ENERGÉTICO.....	49
TABLA 7 MATRICES HÍBRIDAS	50
TABLA 8 RESULTADOS PRINCIPALES E INTERPRETACIÓN	51
TABLA 9 FUENTES DOMÉSTICAS Y EXTERNAS DE LA OFERTA BRUTA DE ENERGÍA, 2008.....	53
TABLA 10 DISTRIBUCIÓN DE LA OFERTA BRUTA DE ENERGÍA, 2008.....	54
TABLA 11 CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN LA MFE	56
TABLA 12 MATRIZ DE FLUJO ENERGÉTICO (MFE), 2008.....	57
TABLA 13 MATRIZ DE COEFICIENTES DIRECTOS DE ENERGÍA.....	58
TABLA 14 MATRIZ DE COEFICIENTES TOTALES DE ENERGÍA	60
TABLA 15 COEFICIENTES DIRECTOS Y TOTALES DE LOS SECTORES	62
TABLA 17 FLUJO ENERGÉTICO EN EL BNE, DE LA PRODUCCIÓN AL CONSUMO	68
TABLA 18 ESTRUCTURA DEL BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA	69
TABLA 19 AGREGACIÓN DE LOS SUBSECTORES DE LA MIP CON LOS SECTORES DE LA MFE.....	71
TABLA 20 MATRIZ SIMÉTRICA DOMÉSTICA DE INSUMO-PRODUCTO (INDUSTRIA POR INDUSTRIA) POR SUBSECTOR DE ACTIVIDAD, 2008	72
TABLA 21 MATRIZ SIMÉTRICA DOMÉSTICA DE INSUMO-PRODUCTO (INDUSTRIA POR INDUSTRIA) POR SUBSECTOR DE ACTIVIDAD, 2008	73
TABLA 22 SIMÉTRICA DOMÉSTICA DE INSUMO-PRODUCTO (INDUSTRIA POR INDUSTRIA) POR SUBSECTOR DE ACTIVIDAD, 2008.....	74
TABLA 23 MATRIZ SIMÉTRICA DOMÉSTICA DE INSUMO-PRODUCTO (INDUSTRIA POR INDUSTRIA) POR SUBSECTOR DE ACTIVIDAD, 2008	75
TABLA 24. MATRIZ HÍBRIDA Z*.....	76
TABLA 25 COMPOSICIÓN DE LA DEMANDA FINAL Y PRODUCTO/CONSUMO TOTAL (F* Y X*).....	77
TABLA 26 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DIAGONAL (X*).....	78
TABLA 27 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DIAGONAL (X*) ⁽⁻¹⁾	79
TABLA 28 MATRIZ G	80
TABLA 29 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ A*	81
TABLA 30 MATRIZ IDENTIDAD (I).....	82
TABLA 31 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ (I-A*).....	83

TABLA 32 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ $(I - A^*) - 1$	84
TABLA.33 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ $(G * X - 1)$	85

Gráficos

GRÁFICO 1 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA Y SECUNDARIA, 2013	30
GRÁFICO 2 INTENSIDAD ENERGÉTICA, 2002-2012	32
GRÁFICO 3 ESTRUCTURA DEL PIB* POR SECTOR, 2013	33
GRÁFICO 4 EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN PETROLERA POR REGIÓN	35
GRÁFICO 5 EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DEL PETRÓLEO DE LA MEZCLA MEXICANA	36
GRÁFICO 6 EVOLUCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DE LOS INGRESOS PETROLEROS EN EL INGRESO PRESUPUESTARIO DEL SECTOR PÚBLICO	37

Un modelo es esencialmente una construcción teórica que nos permite a partir de datos actuales o hipotéticos llegar a unas interesantes conclusiones empíricas. Éste debe de comenzar en la tierra y debe terminar en la tierra. En el camino puedes volar tan alto como quieras, pero aterrizar en la tierra de nuevo. Hay demasiados modelos que todavía están volando.

Wassily Leontief, 1966.

Introducción

El sector energético es uno de los más importantes para la economía pues genera insumos esenciales para todas las actividades productivas y bienes de consumo fundamentales para los hogares. Además, para los principales países productores de energía de fuente fósil (petróleo, carbón y gas natural, primordialmente), existe una alta correlación entre la dinámica de producción y la del producto interno bruto (PIB). Actualmente, el patrón energético global está basado en este tipo de energía: en 2012, la estructura de la producción global de energía primaria estuvo dominada por la energía fósil (81.8%), distribuida entre petróleo (31.2%), carbón y sus derivados (29.4%), y gas natural (21.2%). La energía nuclear representa el 4.8% de la producción primaria, mientras que las energías renovables contribuyeron con el 13.4%. Como se sabe, la energía fósil es no renovable y suele exhibir altas tasas de agotamiento, además de que su utilización conlleva a la emisión de bióxido de carbono, principal componente de los gases de efecto invernadero (GEIS) a los que se atribuye el cambio climático.

Según el quinto informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de 2013, el cambio climático, que es antropogénico al 99% de confianza es uno de los principales problemas de la economía mundial, se caracteriza por la variación en la temperatura superficial de la tierra de 1.5 a 4.5°C. Las principales consecuencias de este fenómeno incluyen alteraciones en el patrón de precipitaciones, intensificación del deshielo de los glaciares, incremento del nivel del mar, aumento en la erosión o pérdida en la humedad del suelo, pérdida de la biodiversidad, etc., lo que genera un alto costo económico y social (según el Informe Stern (2007) va del 1 al 3% del PIB global por año, en los próximos 10-20 años) incluyendo desplazamientos poblacionales de las costas y tierras afectadas, cambios en los patrones productivos agrícola y ganadero, caída en la productividad de la tierra, entre muchos otros.

Dada la importancia del cambio climático se han creado diferentes iniciativas internacionales que buscan reducir la emisión de los GEIS, así como mejorar el bienestar de la población, por ejemplo: Economía verde y Economía baja en carbono del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), y Crecimiento verde de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sugieren el desarrollo sustentable y la promoción de las energías renovables como estrategias para combatir el cambio climático y cambiar el patrón energético.

Por otro lado, el agotamiento de la energía fósil constituye otro de los principales problemas económicos internacionales, a causa de los altos costos que se podrían generar si no se encuentran más reservas, o si no se sustituyen por otras fuentes energéticas. Los altos costos se reflejaban en los precios petroleros que oscilaban en 2013 entre los 98 y 112 dólares por barril, con una tasa de crecimiento del 268% de 2003, año en el que los precios oscilaban entre los 27 y 32 dólares por barril. Si bien es cierto que la actual guerra de precios del petróleo de Estados Unidos con Arabia Saudita mantiene el precio en los 50 dólares, la Agencia Internacional de Energía (AIE) espera que los precios se estabilicen en los próximos tres años. Los principales objetivos de la política energética de los países consiste en asegurar el suministro por medio del acceso a fuentes diversas de energía, si bien el petróleo es actualmente barato, el crecimiento en la demanda y el nivel de pobreza energética de algunos países hace el reto aún más grande.

En lo que respecta al concepto de la energía, comprender la sustentabilidad energética implica buscar que el uso energético este asegurado para las generaciones futuras con igualdad de oportunidades y manteniendo la sustentabilidad de los demás recursos. Esto requiere no sólo medir los acervos de la energía, sino también los flujos y la eficiencia con que estos se transforman, así como los servicios que provee y sus interrelaciones con los agentes en un contexto inter-temporal.

La intensidad energética mide los flujos energéticos a través de unidades monetarias PJ/\$, lo que la hace un buen indicador de sustentabilidad energética, es decir si la intensidad sube, la sustentabilidad se deteriora, y si baja, posiblemente mejora. La sustentabilidad energética requiere que la eficiencia energética no vaya en contra de la eficiencia económica, es decir, la eficiencia económica se ha de basar en la energética. El informe del IPCC propone que para

reducir la emisión de GEIS es importante aumentar la eficiencia energética a través de una nueva infraestructura en el sector de transporte y en el sector industrial.

Hay distintas metodologías para medir la demanda y la eficiencia energética, en éstas siempre se ha de tener en cuenta que la energía se transforma a través de los distintos procesos productivos, comenzando por la extracción, conversión, transporte, conversión y uso final. Ésta descomposición analítica del uso energético permite entender las contribuciones de los diferentes sectores productivos en los cambios económicos, ecológicos y sociales que se relacionan con la demanda y la oferta de energía. La metodología utilizada en esta tesis será el análisis de insumo-producto de energía que describe la utilización directa e indirecta de energía, es decir, la utilización de energía en los diversos eslabonamientos productivos en las cadenas productivas. En particular, este análisis tiene como marcos de referencia a la ecología industrial y el análisis de ciclo de vida.

La ecología industrial estudia los flujos de materiales y de energía en el sistema económico y en su entorno biofísico, así como sus condiciones de sustentabilidad, mientras que el análisis de ciclo de vida permite medir con cierta completitud los impactos ambientales de los procesos productivos desde la extracción de insumos, la producción, el consumo y la gestión de los residuos. En este sentido, las tablas de insumo-producto permiten rastrear el flujo de servicios y productos desde la extracción hasta el consumo, y facilitan el análisis de la estructura de una economía en términos de las interacciones entre las industrias, los hogares, el gobierno y el comercio internacional.

El patrón energético mexicano exhibe un esquema de consumo y de producción divergente: mientras en 2013 el consumo creció a una tasa del 1.1% respecto a 2012, la producción lo hizo a una tasa del -0.4%, lo que involucra el riesgo de que eventualmente México llegue a convertirse en importador de energía. Si bien el consenso internacional indica que el futuro energético se basa en el desarrollo de la energía renovable, el impacto de ésta en el balance energético mexicano actualmente es marginal, con una tasa de participación del 7% en la matriz energética primaria. En este escenario destaca la Reforma Energética que busca impulsar la producción de petróleo y de gas natural, principalmente, sin importar que el pico energético se alcanzara en 2003 con una producción de 2,548 mil barriles de petróleo diario y que queden reservas de petróleo suficientes para apenas 10 años de producción petrolera con la misma productividad.

La evolución de la producción petrolera nacional presenta una tendencia decreciente: las reservas petroleras tuvieron una caída del 5.3% en 2014 respecto a 2013, lo que contrasta con el crecimiento del número de campos productores de Pemex, exploración y producción, a una tasa del 1.1% de 2012 a 2013, mientras que en 2014 la producción petrolera fue el nivel más bajo desde hace 28 años. Otro factor es la dependencia fiscal a los ingresos petroleros: actualmente dichos ingresos representan el 30% del ingreso presupuestario del sector público. Si bien la producción petrolera disminuyó desde el pico petrolero alcanzado en 2003, los ingresos fiscales por petróleo se mantuvieron gracias al crecimiento de los precios del petróleo en el mercado internacional.

Sin embargo, ante la caída de los precios del petróleo de 2014, las expectativas de la Reforma Energética se han visto reducidas, como se puede comprobar con la Ronda 1 de 2015, la primera inversión cayó de 18 mil 200 a mil 023 mdd. Los precios del petróleo pasaron de 105 dólares en 2013 a 37 dólares en 2014, lo que implica que por cada dólar en que cae el precio del petróleo la recaudación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público disminuya en 300 millones de dólares. Esta noticia ha generado recortes en la previsión del crecimiento económico y ajustes en la política fiscal para 2016. A lo anterior se suma, además, la importación de barriles de petróleo desde Estados Unidos, hecho histórico que enfatiza los cambios ocurridos en el mercado de hidrocarburos.

En la estructura nacional de la producción de energía primaria por tipo de fuente ocurre que en 2013 las fósiles concentraron el 91.5%, y las fuentes renovables el 7.1%. Los sectores con mayor consumo de energía fueron el de transporte, seguido por el industrial. Mientras que la intensidad energética en el período de 2003 a 2010 presentó un comportamiento constante, lo que sugiere la ausencia de mejora tecnológica que disminuya el consumo de energía. Son los sectores de transporte, y los sectores manufactureros de hierro y acero, pulpa papel y cartón, y el de cemento, los que tienen el mayor nivel de intensidad energética.

Teniendo en mente lo anterior el objetivo del presente trabajo es analizar la estructura energética actual del país midiendo el costo energético (definido como la cantidad de energía requerida de forma directa e indirecta por toda la economía para obtener la producción necesaria que satisface una unidad de demanda final) en los 18 sectores económicos, distinguiendo entre energía renovable y no renovable, con el fin de identificar los sectores estratégicos en los cuales se podría

comenzar la transición energética, ésta conlleva a la implementación de la energía renovable como dominante en la matriz energética. .

Como es usual en un trabajo de tesis se pretende probar hipótesis o rechazarlas, la hipótesis central de este trabajo es que la transición energética del país tiene un alcance muy limitado ya que sólo abarca a los sectores que utilizan electricidad, mientras que los que tienen mayor consumo energético, por su estructura tecnológica, consumen más energía fósil.

La metodología de esta tesis se basa en la matriz de insumo-producto de energía, la cual utiliza la matriz de flujo energético y que ha de cumplir con la condición de conservación de energía. Esto permite conocer el estado de la conservación energética en los procesos productivos a través de la medición del costo energético. Para ello primero se estudió el Balance Nacional de Energía con el fin de conocer los movimientos de los flujos energéticos y saber cómo se cumple la condición de conservación, después se analizó la matriz de insumo-producto de la economía mexicana y se agregaron los sectores del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) con el fin de construir la matriz de flujo energético y hacer ambas matrices compatibles, con éstas luego se construyó la matriz híbrida de insumo-producto.

Con ésta se lleva a cabo el procedimiento clásico de Leontief. Como resultado se obtienen dos matrices, la primera conformada por coeficientes directos de energía que hacen referencia a la intensidad energética directa de cada sector económico. Y la segunda, una matriz de coeficientes totales de energía que miden la energía consumida indirectamente a través de los insumos productivos, lo que se lee como una suerte de huella energética, en ésta matriz se muestra con mayor detalle las condiciones de conservación de energía entre la energía primaria y la energía secundaria por sector económico.

Esta tesis está estructurada de la siguiente manera, el Capítulo I estudia el concepto de la sustentabilidad energética y los retos que giran en torno a ésta, describe la evolución de los GEIS, así como algunos de los retos globales del sistema energético. Además, analiza las metodologías utilizadas para medir la sustentabilidad energética, haciendo énfasis en el análisis de ciclo de vida utilizada por la ecología industrial. El capítulo II tiene por objetivo comprender la situación energética en nuestro país, por lo que expone la estructura del Balance Nacional de Energía (BNE) y analiza el comportamiento de la intensidad energética, así mismo expone la situación de la producción petrolera y la dependencia fiscal en los ingresos petroleros.

El capítulo III explica la metodología que se siguió para medir el costo energético, ésta es la matriz de insumo-producto de energía basada en la matriz básica de Leontief y la de unidades híbridas, así como el concepto de condición de conservación de energía. Así mismo se simplifica la modelación con un ejemplo numérico. Mientras que el Capítulo IV expone los resultados de la medición de los flujos de energía a lo largo de la distribución de la oferta interna bruta de energía, así como los resultados del costo energético derivados de la matriz de insumo-producto de energía a través de la matriz de coeficientes directos e indirectos de energía. Finalmente se cierra el trabajo con los resultados obtenidos a lo largo de su elaboración y se incluyen algunas lecciones de política a modo de conclusiones.

Capítulo I. La sustentabilidad energética, definición, retos y perspectivas

El presente capítulo queda estructurado en cuatro secciones: la primera describe los retos que giran en torno a la sustentabilidad energética, ésta haciendo énfasis en los efectos del cambio climático y la problemática del agotamiento de los recursos no renovables. Además describe, según el informe del IPCC, la evolución pasada, presente y futura de los GEIS. El segundo apartado describe los retos globales como la seguridad energética, la reducción de la contaminación y la pobreza energética. El tercero expone algunos elementos sobre la sustentabilidad energética y describe la eficiencia energética como vía para enverdecer a la economía, el cuarto describe la metodología utilizada por la ecología industrial para medir los flujos energéticos, expone en qué consiste el análisis de insumo-producto, hace un recuento de algunos estudios realizados y menciona las ventajas y desventajas de dicho instrumento.

A. El cambio climático y la finitud del recurso

1. El cambio climático

El cambio climático es uno de los principales problemas de la economía mundial, si bien cambia de forma natural, actualmente lo está haciendo a una tasa mayor debido a la actividad humana, principalmente por el uso de combustibles fósiles y la deforestación. Los científicos consideran que lograr combatirlo puede hacerse través de dos vías. La primera, llamada “estrategia de mitigación”, busca reducir la emisión de GEIS,¹ vía la implementación de la eficiencia energética, la transición hacia las renovables, la promoción de la protección a la calidad del suelo y evitando la deforestación. La segunda, llamada “estrategia de adaptación” busca aceptar que el cambio climático está sucediendo y que hay que imponer estrategias que reduzcan su impacto negativo en la economía (Withgott, 2008).

Los Informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) son el más minucioso reporte extensamente aceptado, conformado por científicos y expertos alrededor del mundo, brinda información sobre las principales consecuencias sociales, ecológicas y económicas de este fenómeno. Es a partir del Cuarto Informe en 2007 cuando queda claro que el cambio es antropogénico, menciona además que el período de 1995 a 2006 contiene once de los doce años más calurosos. Algunos efectos importantes son: acidificación de océanos, las tormentas tenderán

¹ De estos, es el dióxido de carbono el más importante, no por su potencia sino por su abundancia en la atmósfera.

a incrementar, habrá alteraciones en el patrón de precipitaciones, intensificación del deshielo de los glaciares, incremento del nivel del mar, aumento en la erosión del suelo, pérdida de la biodiversidad, etc. Esto genera altos costos económicos y sociales, como lo son el desplazamiento de la población de las costas y tierras afectadas, cambios en el patrón agrícola y ganadero, caída en la productividad de la tierra, etc. (Withgott, 2008).

2. Pico de Hubbert y decrecimiento de la producción petrolera

El concepto de *peak oil* cobra relevancia en 1956 con el análisis de King Hubbert en *Nuclear energy and fossil fuels* al predecir que la producción petrolera de Estados Unidos alcanzaría su máximo entre 1965 y 1970. En 2005 el Departamento de Energía de los Estados Unidos publicó el informe *The peaking of world oil production: impacts, mitigation and risk management* o mejor conocido como el Informe Hirsch, que analiza las consecuencias del “pico petrolero” (*peak oil*) que es el punto de la máxima producción petrolera.

En ese estudio se menciona que el fin de la era del petróleo barato habría terminado. Si bien no se conocía la fecha exacta en que el pico petrolero iba a llegar, se estimaba que era dentro de una década, además de que para 2025 la demanda petrolera crecería en un 50%. Ante esta problemática algunos miembros de la OPEC consideran que el suministro de petróleo no alcanzaría a satisfacer la demanda dentro de 10 o 15 años, por lo que entre sus recomendaciones de política se encuentra una mitigación temprana al problema, una inminente intervención gubernamental así como un incremento en la información de lo que está sucediendo (Hirsch, 2005).

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) un estudio realizado a 28 países industrializados: “la producción de crudo convencional (...) probablemente tocó el tope de ese bien en 2006, en aproximadamente 70 millones de barriles de petróleo al día” (Collins, 2014) La IEA también informa que debido a este pico petrolero, aunque Irak triplique su producción petrolera, la producción de crudo se estancará, y el mundo se hará cada vez más dependiente de fuentes no convencionales como lo son las arenas bituminosas (Inman, 2010). Hecho que se está observando ya en Calgary, Canadá, y en Estados Unidos, que si bien sus procesos productivos son mucho más caros, es necesaria la perforación constante de pozos nuevos para mantener la producción. Sin embargo, su explotación además de ser más cara

implica altos costos de degradación y agotamiento de otros recursos naturales claro ejemplo es lo que está sucediendo en la región de Fort McMurray, Canadá.

3. Sobre las emisiones

El Quinto Informe del IPCC en 2014 menciona que las emisiones de GEIS han aumentado en mayor cuantía recientemente, tan sólo de 1970 a 2010 incrementaron a una tasa del 2.2% anual, comparado con el 1.3% registrado en el período de 1970 a 2000. El incremento de las emisiones de 2000 a 2010 se asocia, principalmente, a la industria del suministro de la energía, a la industria en general, al sector de transporte y al de la construcción, pero también al crecimiento de la población y la actividad económica. Según el Informe, si no se actúa, se espera que para 2100 incrementen las emisiones y que la temperatura aumente de 3.7 a 4.8°C, y si se incluye la incertidumbre climática podría ser de 2.5 a 7.8°C. Otro factor que puede aumentar o disminuir el consumo de energía son el comportamiento y el estilo de vida de la población, “las emisiones pueden disminuir sustancialmente si se cambia el patrón de consumo de la población” (IPPC, 2014).

El sector industrial (uno de los sectores que más gases emite) en 2010 representó alrededor del 28% del consumo final de energía y de éste se prevé que para el año de 2050 sus emisiones aumenten de un 50 a 150%, aunque su intensidad energética podría reducirse directamente en un 25% en comparación con el nivel actual a través de la innovación energética. Este sector se puede hacer más rentable a través de mejoras en la eficiencia de la emisión de gases, así como en el reciclaje y reutilización de materiales, además que una reducción en la demanda de productos podrían disminuir la emisión de gases (IPPC, 2014).

Otro factor de vital relevancia es la tendencia mundial de la urbanización, ya que se relaciona con un consumo de energía más alto y por tanto de mayores emisiones. En 2006 las zonas urbanas representaron del 67 al 76% del uso de la energía, aún así se espera que en 2050 la población urbana incremente de 5.6 hasta 7.1 mil millones representando del 64 a 69% de la población mundial. Las siguientes dos décadas representan una ventana de oportunidad para la mitigación en zonas urbanas, ya que se espera el desarrollo y expansión del suelo urbano de un 56 a un 310% entre 2000 y 2030. (IPPC, 2014).

B. Principales retos globales y transición energética

1. Agenda energética

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) considera que entre los principales retos y oportunidades en la agenda energética, se encuentra: a) el acceso a la energía, referida a la dependencia energética sobre los países productores de petróleo, b) la pobreza energética y c) la transición energética a las renovables.

El acceso a la energía ha sido considerado como uno de los mayores retos para el desarrollo sustentable, “definido por una oferta confiable y suficiente de energía a un precio razonable” (Bhattacharyya, 2011; 463). Tal reto surge desde el choque de los precios del petróleo en los años 70, desde entonces algunos países se han enfocado al problema a través de distintas políticas con dimensiones geopolíticas, militares, técnicas y económicas. Estos países actualmente se enfrentan al crecimiento de la demanda de energía, principalmente por parte de los países no miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Este reto se puede medir a partir del nivel de dependencia energética, medido a través del nivel de importaciones, estado de la matriz energética y nivel de reservas de los combustibles. La dependencia se clasifica de dos maneras, de forma estratégica o aleatoria, la primera se refiere cuando se trata de inestabilidad política, poder de mercado, inadecuadas instalaciones de suministro así como cuando la OPEC manipula el precio y la oferta. El segundo ocurre ante ataques terroristas, y especulativos (Bhattacharyya, 2011).

Actualmente, se observa un sistema energético desigual: 1.4 miles de millones de personas no tienen acceso a la electricidad y 2.7 billones dependen de la biomasa para cocinar (PNUMA, 2011). Esta preocupación se relaciona con el tema de pobreza y la situación de adversidad por la que tienen que pasar mujeres y niños afectados por el poco acceso a la energía limpia. El uso continuo de biomasa, como el carbón o la leña, en malas condiciones provoca enfermedades en la población más vulnerable.

Otro de los retos del sistema energético es la conformación estructural del mercado energético, principalmente monopolístico; el Estado ha de fungir sus funciones pero una nueva política energética ha de saber ser bien implementada, como es el caso de la transición energética a las renovables ya que afecta a las economías ricas en producción petrolera. Por ejemplo, tras el choque petrolero de los años 70 se había acordado que la energía nuclear sería la opción

dominante, sin embargo, al no ser exitoso, fue el gas natural el más importante (Bhattacharyya, 2011).

2. Evolución energética

Cambios en el patrón energético trae cambios profundos en la actividad económica a nivel global, como aquellos que trajo consigo la Revolución Industrial en el siglo XVII, con un fuerte incremento del consumo de energía a través del carbón, así como la segunda Revolución Industrial en el siglo XIX que permitió diversificar la oferta a través de la electricidad y la combustión interna, que a la vez impulsaron la industria del transporte. Gracias a estas dos grandes transiciones las economías comenzaron a transitar de agrícolas a industriales y manufactureras, recientemente como un movimiento a las industrias de la información ya meramente dominante (Bhattacharyya, 2011).

Si bien es cierto que las renovables ingresaron al mercado tras el choque de los precios del petróleo en 1970, es ahora con la preocupación del cambio climático y la finitud de los acervos que cobran más fuerza. Tan sólo la demanda de energía renovable de los países miembros de la OCDE creció a una tasa anual del 4.6% en 1973 a un 7.7% en 2009. Y la inversión en energía renovable en el período de 2004 a 2010 creció a una tasa anual del 36% gracias al acceso y a la reducción de precios de la tecnología (a excepción de los años comprendidos por la crisis). Son Brasil, China e India los países que dominan con el 90% de la inversión en energía renovable, Brasil con mayor crecimiento en América Latina, y China como el mayor productor de paneles y calentadores solares con la perspectiva de crear más de 3.5 millones de empleos para 2020 (PNUMA, 2011).

La transición se logrará si y sólo si el sector energético se organiza de forma diferente y cambia sus prácticas y políticas en torno al concepto de sustentabilidad. La tesis del PNUMA implica que enverdecer al sector e invertir en energía renovable puede contribuir al combate de estos retos, mediante una reducción de los GEIS, generación de empleo, y avance en tecnologías limpias, principalmente.

C. Sustentabilidad y eficiencia energética

1. Definición de sustentabilidad energética

A largo del capítulo se ha hablado de la sustentabilidad como una estrategia de mitigación ante el cambio climático, definida como: “que las generaciones futuras tengan la oportunidad de lograr un nivel de bienestar al menos tan bueno como el de las generaciones presentes” (Greene, 2009; 2). Sin embargo, para comprenderla es necesario ver más allá y entender las dimensiones que ésta abarca, por ejemplo Wilkbanks la cita en 1994 como: “la sustentabilidad es un camino y no un estado” (como se cita en Wilkbanks, 2009; 2) se le considera como un atributo de un mundo cambiante, tal que los contextos de cambio emergen y sus ajustes son inevitables. Es así que una forma de ver la sustentabilidad es a través de cuantificar las necesidades presentes y futuras, así como considerar las limitaciones de la tierra con el fin de saber que acciones específicas emprender.

Para poder comprender a la energía en el contexto de la sustentabilidad es necesario verla desde otra perspectiva; primero, hay que entender que la sociedad no está interesada en la energía como tal, sino en los bienes y servicios que está provee (Greene, 2009; 2). Segundo, la sustentabilidad energética no es sólo medir el nivel y la tasa de creación, de uso y de expansión de la energía, sino es medir sobre las interrelaciones de ésta y los demás agentes en un contexto inter-temporal, por ejemplo, cómo el uso energético afecta la calidad ambiental, la seguridad, la disponibilidad de agua y de los recursos minerales, la seguridad alimentaria, así como la relación que tiene con los conflictos a nivel mundial; como lo es la protección ambiental, el crecimiento económico, la equidad y el acceso a la energía. Solow define a la sustentabilidad energética como el hecho de que el uso energético a nivel mundial esté asegurado para las futuras generaciones con igualdad de oportunidades, siempre manteniendo la sustentabilidad de los demás recursos (Greene, 2009).

2. Medición

La definición de sustentabilidad energética también implica que al momento de considerar los recursos energéticos hay que tener en cuenta que no sólo se miden como acervos sino como flujos, “hay que observar cómo se usa la energía, como cambian el nivel de consumo y de interdependencia”. (Graedel, 2009). “Los flujos energéticos son quizás el mejor componente de la ecuación de sustentabilidad” (Greene, 2009; 10). También se requiere medir el nivel de expansión de los recursos energéticos, la habilidad de transformación, y la habilidad en cómo contribuyen al nivel del bienestar de la población. Este último es el más difícil, pues el nivel de

uso energético más alto no necesariamente corresponde a un nivel mayor de bienestar. Lo que define al recurso energético es la habilidad de ser transformado en un servicio energético, por ejemplo, el valor de un recurso energético para las generaciones futuras es la eficiencia con la cual puede ser transformado una tonelada de carbón en un servicio energético (Greene, 2009; 6).

Otra manera de comprender a la sustentabilidad energética es a través de las dimensiones de ésta; Wilbanks (2009) las clasifica en diferentes niveles, desde un punto de vista social y conceptual. En el primero, se tiene contemplado que los recursos serán suficientes para todos los sectores y niveles económicos, además de ser fiables, la energía estará ahí cuando se necesite y será accesible a un precio que no ponga en peligro otros aspectos económicos y sociales.

El segundo explica el entorno que permite el cumplimiento de estos puntos a través de 1) oferta de recursos, pues se ha de tener acceso no sólo a energía primaria, sino también a la tecnología y a los recursos humanos que permitan transformarla de forma eficiente, 2) consenso social, las instituciones han de dar confiabilidad a la sociedad sobre los riesgos y efectos indirectos incorporados en los sistemas de producción de energía, al asegurar la calidad y seguridad de los sistemas productivos, 3) producción efectiva e infraestructura de suministro, la sustentabilidad energética depende de la infraestructura física e institucional, que sea fiable y asequible al momento de entregar la energía desde el productor al consumidor, en la mayoría de los casos el mayor reto es proveer esta dimensión en el momento de una transición energética. Por último la sustentabilidad ha de tener la capacidad de resolver problemas y responder a las sorpresas, es decir que sigan fluyendo ideas, tecnologías y prácticas que proveen resiliencia con respecto al cambio en el contexto y circunstancias. No hay un solo modelo necesario o exitoso, ya que se pueden combinar las distintas prácticas de los países (Wilbanks, 2009).

En el mismo tenor, Wilbanks considera que para entender los indicadores de desarrollo de la sustentabilidad energética se han de comprender los siguientes elementos: 1) el consumo de bienes está relacionado con el uso de recursos, en la agenda es importante entender el consumo individual, la demanda, los incentivos y regulación, así como las decisiones de los negocios que afectan el consumo de los recursos ambientales, 2) el comportamiento institucional, 3) la relación entre la energía y otros procesos, como el cambio demográfico, económico, institucional, y ver qué determina el cambio en las tasas de avance tecnológico esto incluye estudios sobre el rol de incentivos, aspectos de organizaciones y promoción institucional. Además, en la transición

energética es necesario que existan cambios en los roles institucionales, habilidad técnica, infraestructura para la producción y distribución, política pública, así como ganadores y perdedores (Wilbanks, 2009).

3. Eficiencia energética

El PNUMA considera que para poder enverdecer al sector energético se requieren mejoras en la eficiencia energética, y una mayor oferta de recursos renovables, con esa combinación podría reducirse la emisión de GEIS además de los beneficios económicos como lo son el crecimiento del ingreso, generación de empleo y mayor acceso a la energía por parte de la población más pobre. También en el Quinto Informe del IPCC entre las políticas de mitigación destacan los estándares de eficiencia energética,² como los programas de información que auxilian al consumidor para que tomen mejores decisiones sobre el consumo energético. Aunque hay un efecto rebote; una mayor eficiencia energética puede ayudar a disminuir los precios de la energía, pero a la vez esto puede incrementar el consumo de energía (IPCC, 2014).

En este debate destaca el tema de si la eficiencia energética es igual a la eficiencia económica. Por un lado la eficiencia energética puede traer beneficios o mejoras a la economía, y por el otro genera una disminución a la economía, ya que hay casos en que la eficiencia económica conlleva a un mayor consumo de energía. En general debemos de estar de acuerdo en que las políticas de eficiencia energética deben de ser coherentes con la eficiencia económica (Bhattacharyya, 2011; 159).

Es importante tener en cuenta que la intensidad energética baja no necesariamente dice que tan sustentablemente se está utilizando la energía, sino más bien la alta actividad económica nos da un coeficiente pequeño. No hay que olvidar que al final de cuentas el principal objetivo es promover servicios energéticos usando la menor cantidad de energía posible (Worrel, 2009). Hay distintos incentivos en el mercado que permiten la eficiencia energética, desde la información hasta los certificados de energía, o a través de pequeñas acciones como lo es el cambio de tecnología en los hogares que reduce su consumo de energía y por ende de la emisión de gases. Según el IPCC entre las opciones de política para aumentar la eficiencia energética se encuentra

² Ésta se puede medir vía la intensidad energética que es el cociente de las “cantidad de insumos utilizados en términos energéticos y el producto monetario del sector” (Bhattacharyya, 2011; 144).

una mejor planeación urbana, enfocada principalmente al modo de transporte, “una nueva infraestructura puede reducir la demanda energética de un 30 a 50% para 2030, respecto a 2010, esto incluye principalmente la forma de movilidad y el fomento al uso de la bicicleta” (IPCC, 2014; 22).

En la industria de la construcción el Informe indica que los códigos de construcción y la aplicación de estándares como políticas de eficiencia energética han sido los más exitosos en cuanto a la reducción de emisiones. En el sector industrial a menos que la eficiencia energética aumente, se espera que las emisiones crezcan de un 50 a un 150% para el año de 2050. El IPCC espera que de 2010 a 2029 la inversión en tecnología de fuentes fósiles se reduzca en un 20% respecto a 2010, mientras que la oferta de energía baja en carbono se incremente en más del 100%, además de que la inversión en eficiencia energética de los sectores de transporte, construcción e industria se incremente en más de 336 billones de dólares (IPCC, 2014).

Queda claro que a través de la eficiencia energética se puede tener un patrón de consumo más sustentable, para ello es necesario entender los patrones de uso energético, conversión y oferta como factores claves. El análisis energético comenzó en los años 70 y promovió las bases del análisis del ciclo de vida, en el que se describe que la energía se transforma en una cadena de oferta energética comenzando por la extracción, conversión, transporte, y conversión y uso final, en la que en cada etapa hay pérdida energética. Aquí entra el concepto de la entropía, basada en las leyes de la termodinámica, que puede medir la calidad de la energía y la facilidad en que es transformada.

La descomposición del uso energético es vital para entender los cambios en el uso energético, así como entender las contribuciones de los diferentes factores y profundizar en el comportamiento pasado. Para el análisis de la eficiencia energética es necesario distinguir a los sectores económicos, así como tener en cuenta que los energéticos transforman la energía primaria a secundaria, además de que es importante mejorar la disponibilidad de datos de los flujos energéticos, de las cantidades de energía y de la eficiencia energética, al momento de hacer el análisis es relevante preguntar ¿qué es la eficiencia energética?, ¿con cuáles servicios energéticos es provista? y ¿cuál es el principal potencial del ahorro energético para los servicios energéticos? Así como ¿cuál es la distribución de los recursos energéticos primarios, incluyendo en el análisis a las renovables y no renovables (Worrel, 2009).

D. Análisis de insumo-producto a través del LCA en la ecología industrial

1. La ecología industrial

La ecología industrial se centra en el estudio del diseño del producto y el proceso de manufactura, considera que son las empresas los agentes de la mejora ambiental porque poseen la experiencia y la mejora tecnológica para lograrlo, siendo la industria la porción de la sociedad que se encarga de producir la mayor parte de bienes y servicios (Suh, 2009). En pocas palabras en la ecología industrial “los sistemas económicos no son vistos en forma aislada de sus sistemas circundantes sino en conjunto con ellos” (Graedel y Allenby, 1995). Otra forma de definirla es como el estudio de los flujos de materiales y energía en las actividades industriales y de consumo, así como el estudio de los efectos de estos flujos en el medio ambiente; su influencia en los factores económicos, políticos, normativos y sociales, así como el uso y transformación de los recursos. El objetivo de ésta “es entender cómo podemos integrar las preocupaciones ambientales en nuestras actividades económicas” (Suh, 2009; 4). Además de que un sistema industrial es visto como un organismo complejo, que procesa la energía y los materiales bajo reglas metabólicas, el principal foco de la ecología industrial es utilizar y desechar los recursos en el proceso de transformación de los sistemas industriales (Suh, 2009).

El análisis del ciclo de vida permite medir los impactos ambientales de los productos, procesos, instalaciones y servicios desde la extracción, la producción, el consumo y la gestión de los residuos. Una de las principales herramientas del análisis, son las tablas de insumo-producto,³ pues rastrean el flujo de servicios y productos, describen la estructura de una economía en términos de las interacciones entre las industrias, los hogares, el gobierno, y el comercio internacional. La tabla es una descripción en términos de intercambios monetarios del flujo de bienes y servicios a través de la economía examinada. Desde Leontief cientos de artículos y libros han sido publicados. Sobre el estado del arte se destacan las publicaciones de Miller y Blair en 1985 y 2009, Sohn en 1986, y Rose y Miernyk en 1989 (Suh, 2009).

La relevancia de la economía de insumo-producto para la ecología industrial parece evidente, sus grandes avances han permitido una amplia colaboración entre estas dos disciplinas, aunque

³ Metodología desarrollada por Wassily Leontief y publicada en 1941 como *Structure of the American Economy, 1919-1929* por lo que ganó el Premio Nobel de Economía en 1973.

todavía su relación se encuentra en una etapa temprana. Son las contribuciones de Duchin y del mismo Leontief que ligaron ambas ciencias. El segundo en 1972 propuso un modelo en el que la generación y reducción de la contaminación están explícitamente contempladas dentro de un marco extendido de insumo-producto. Y actualmente las contribuciones recientes de Duchin y sus colegas sitúan ambos estudios en un marco global (Suh, 2009).

Este tipo de análisis siempre ha tenido la ambición de facilitar la investigación interdisciplinaria, conectando distintas disciplinas. El marco de insumo-producto analiza la relación precio-cantidad, factores de producción y la tecnología, así como la relación entre la distribución del ingreso, el trabajo, el capital, las inversiones, el comercio internacional, la dinámica y el cambio estructural. Ésto abre las posibilidades de integración de los diferentes campos de la ciencia como medio común.

2. Aplicación

La ecología industrial aplica este análisis de ciclo de vida con insumo-producto a una de sus principales preocupaciones, la cuestión energética. Desde los años 70 muchos autores han investigado estas extensiones, fueron Berry y Felds quienes en 1973 utilizaron análisis de insumo-producto para el análisis de la energía con “El costo energético de los automóviles” así como Chapman en 1974 con “El costo energético de producir cobre y aluminio a partir de fuentes primarias, metales y materiales”, Wright en 1974 con “Bienes y servicios: un análisis de insumo producto”, Hannon en 1974, Bullard y Herendeen en 1975 con “El costo energético de bienes y servicios”, Cleveland en 1984 con un análisis integral junto a Costanza, Hall y Kaufmann con “Energía y la economía en Estados Unidos”.

Lo que hicieron estos estudios fue analizar como una economía se estructura a través de los flujos de energía e informa ciertos enfoques para poder estudiar su relación con el cambio climático, en 1968 Daly escribió “Sobre economía como una ciencia de la vida”. Sin embargo, fue Hannon en 1974 el primero que introdujo el concepto de economía de insumo-producto para analizar la estructura de utilización de energía en un ecosistema, tomando todas las relaciones directas e indirectas entre los componentes tomados en cuenta. En 1976 Herendeen y Tanak publicaron “El costo energético de vivir” en el que usaron análisis de insumo-producto basado en intensidades energéticas del gasto de los hogares. Otros estudios relacionados fueron los de Weber y Fahl en 1993, Reinders en 2003, India en 2002 y Lenzen en 1998 (Suh, 2009).

3. Limitaciones y ventajas

Entre las limitaciones del análisis de insumo-producto nos encontramos con: los supuestos metodológicos, como lo son la implementación de los coeficientes técnicos y las funciones de producción lineales, el que una tabla de insumo-producto para un año no es fiable para un período largo de tiempo debido principalmente a los cambios tecnológicos de la industria; y como se necesita una cantidad muy grande de datos el nivel de sesgo incrementa. Esta pérdida de información aumenta al momento de la agregación de los datos, debido a que los sectores económicos no son homogéneos (la suposición de homogeneidad de la producción es una limitante fuerte) y se da una estimación promedio de los sectores productivos.

En aplicaciones de energía y medio ambiente la falta de fiabilidad crece debido a las incertidumbres adicionales como lo es la disponibilidad de datos de energía, el cálculo de los flujos de energía y el uso de los factores de conversión. Es importante tener en cuenta que la implementación de la tabla con un alto nivel de agregación compromete el detalle de los resultados, especialmente en un contexto regional donde la economía está basada sobre un pequeño número de sectores. Una mayor incertidumbre también se relaciona con la exclusión de las importaciones, siendo la economía regional ampliamente dependiente de la producción externa. En ese caso la aplicación del análisis de insumo-producto debe considerarse como una estimación aproximada y el acceso a los datos obtenidos podría ser mucho más difícil (Suh, 2009).

Las ventajas del análisis de insumo-producto se basan en la simplicidad del método, ya que permite calcular los impactos energéticos y ambientales por sector y observar su tendencia a través de los años. Además de que describe una imagen aproximada pero útil de la economía, especialmente si los resultados se emplean como apoyo a la planificación energética y ambiental o para evaluar escenarios futuros relacionados con las variaciones del consumo de energía. Además, el análisis de sensibilidad ha mostrado que las variaciones de los datos económicos no han influido fuertemente en los resultados. La fiabilidad del modelo depende estrictamente de los datos del flujo energético de si cumplen o no con la primera y segunda ley de la termodinámica (Suh, 2009).

Capítulo II. El sistema energético en México

En México el sector energético es uno de los más importantes para la economía nacional, con una participación en el producto interno bruto (PIB) del 8% (en 2013), así como, al ser factor de producción de todas las actividades productivas. Claro ejemplo es la etapa de la economía mexicana conocida como “el auge petrolero” (1977-1981) que impulsó el crecimiento económico a una tasa promedio anual del 9.2% (Moreno-Brid y J. Ros, 2010). Sin embargo, ahora se enfrenta con un esquema de consumo y producción de energía divergente –en el que el consumo creció en 2013 un 1.1% respecto a 2012, y la tasa de crecimiento de la producción fue del -0.4%– México podría convertirse en un importador neto de energía, lo que llevaría a una caída en el crecimiento (SIE, 2014).

Ante la caída de la producción petrolera, entre las reformas estructurales llevadas a cabo por el gobierno de Enrique Peña Nieto, destaca la Reforma Energética que busca impulsar la producción de petróleo y gas natural, principalmente, lo que genera incertidumbre respecto a qué pasará con las reservas de estos energéticos –dado que en 2003 el petróleo alcanzó su pico energético (3.3 millones de barriles de petróleo al día) y presenta una tasa promedio anual de declinación del 20% con lo que alcanza una producción de 2,548 mil barriles al día, además, según las reservas de petróleo se tiene una producción de 10 años con la misma productividad, mientras que para el gas natural se espera una producción de 7.3 años (SENER, 2013) –. Si bien la Reforma desea incrementar la productividad, el consenso internacional indica que el futuro energético está en el desarrollo de la energía renovable, la cual no se menciona como una variable de impacto en dicha Reforma.

El desarrollo y participación de la energía renovable en México es aún marginal, tan sólo en 2013 su participación fue del 7% en la matriz energética primaria, con un mayor peso el consumo de leña (como fuente de energía en los hogares rurales). El sector eléctrico es el que promueve más el uso de energía renovable, al representar ésta el 11.9% en la generación de energía eléctrica.⁴ Es importante destacar que se ha impulsado a las renovables con la Ley para el Aprovechamiento y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y la Ley General

⁴ Participación obtenida en Consumo Nacional de Energía para generación eléctrica en el sistema eléctrico nacional (SIE, 2015).

de Cambio Climático (LGCC) expedidas en 2008 y 2012, respectivamente, que tienen como meta incrementar la participación de la energía de fuente no fósil en la generación de electricidad en un 35% para 2024.

Para comprender la situación energética en nuestro país, el primer apartado de este capítulo expone la estructura del Balance Nacional de Energía (BNE), así como la composición de la matriz energética de la producción y el consumo de energía primaria y secundaria por tipo de tecnología. Mientras que el segundo apartado explica el comportamiento de la intensidad energética, como variable fundamental para medir la eficiencia energética, en el período de 2003 a 2013, así como sectorialmente para 2013. Por último, el tercer apartado habla del potencial de la energía renovable a lo largo del territorio.

A. Panorama general

1. El balance energético mexicano

El BNE es un documento que la SENER publica cada año para proveer estadísticas energéticas nacionales y constituye una herramienta para el análisis y evaluación del desempeño sectorial, y muestra los diferentes flujos de energía entre la producción y el consumo ocurridos en el transcurso de un año. De acuerdo con éste las fuentes de energía son aquéllas que producen energía útil directamente o por medio de una transformación, y se clasifican en energía primaria y energía secundaria. La energía primaria comprende los productos energéticos que se extraen o se captan de los recursos naturales. La energía secundaria, en cambio, agrupa a los derivados de las fuentes primarias que se obtienen en los centros de transformación, y que constituyen productos con características específicas para su consumo final. La Tabla 1 presenta las fuentes y productos de ambos tipos de energía. El consumo energético, por su parte, se refiere a la energía destinada a la combustión en procesos y actividades económicas, así como la que satisface las necesidades energéticas de la sociedad.

Tabla 1 Fuentes y productos de energía.

Fuentes de energía primaria	Productos energéticos secundarios
Carbón mineral	Coque de carbón
Petróleo	Coque de petróleo
Condensados	Gas licuado de petróleo
Gas natural	Gasolinas y naftas
Nucleoenergía	Querosenos
Hidroenergía	Diesel
Geoenergía	Combustóleo
Eólica	Gasóleo
Solar	Productos no energéticos
Bagazo de caña	Gas seco
Leña	Etano
Biogás	Electricidad
	Gases industriales derivados del carbón como gas de coque y gas de alto horno

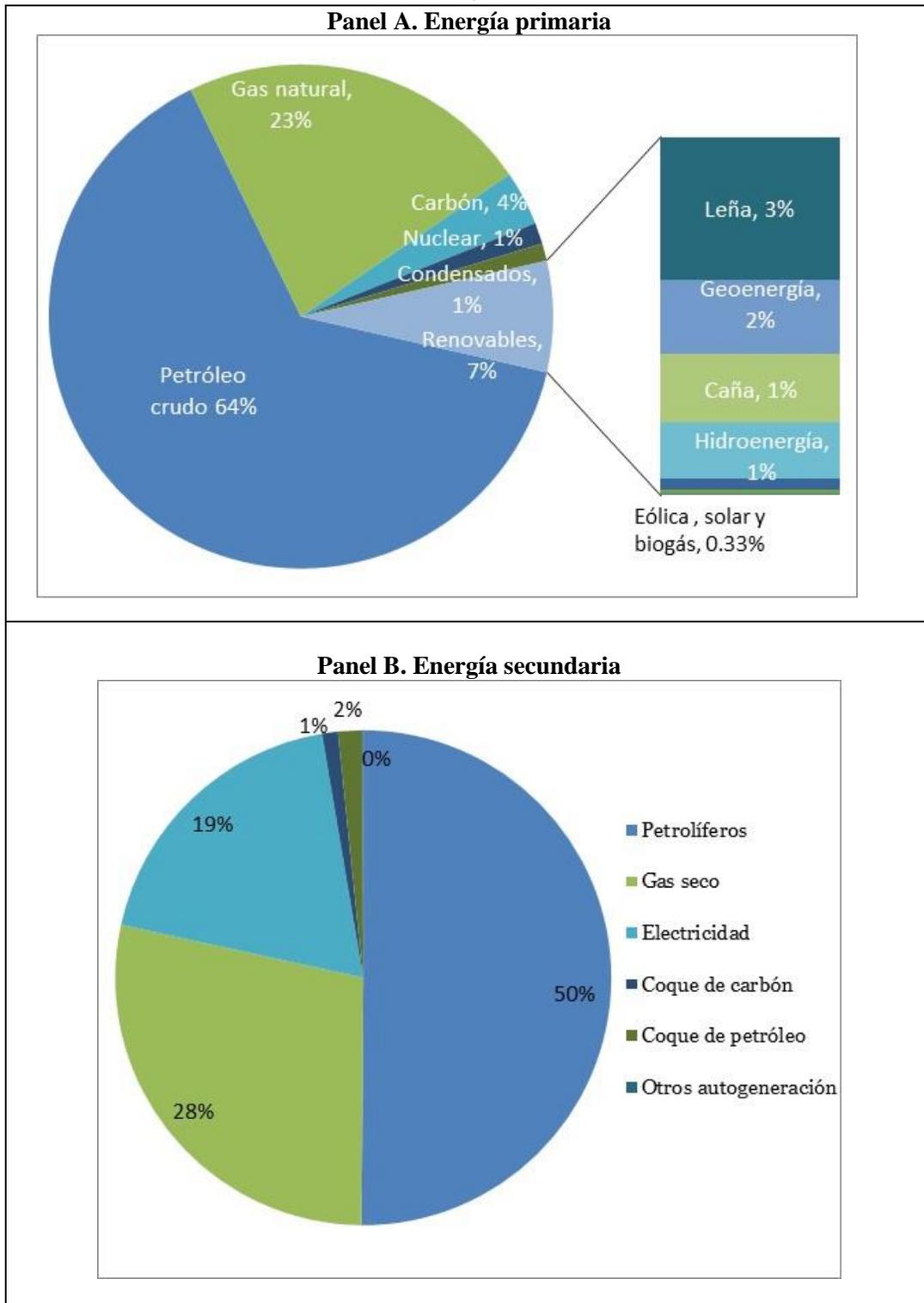
Fuente: elaboración propia con base en Secretaría de Energía (SENER), 2012.

2. Producción de energía

El Panel A del Gráfico 1 muestra la distribución de energía primaria por tipo de fuente para 2013, las fósiles concentraron el 91.5% (petróleo 64.3% (5,798PJ), gas natural 22.7% (2045PJ), carbón 3.5% (316PJ) y condensados 1% (101PJ), y las fuentes renovables el 7.1% (leña 2.8% (255PJ), geotermo-energía 1.5% (131PJ), bagazo de caña 1.4% (124PJ), hidroenergía 1.1% (101PJ), eólica 0.2% (21PJ), solar 0.1% (7PJ) y biogás 0.02% (2PJ). El Panel B muestra la distribución de la producción de energía secundaria en los centros de transformación, las fuentes fósiles concentran casi el 100% (petrolíferos 50% (2,836PJ), gas seco 28% (1,602PJ), electricidad 19% (1,070PJ), coque de carbón (59PJ), coque de petróleo (89PJ) y otros 3% (4.6PJ)). La producción de electricidad se caracteriza por utilizar energía primaria renovable en sus procesos de transformación, ésta representó el 11.9% de la generación de energía por tipo de tecnología.

Gráfico 1 Estructura de la producción de energía primaria y secundaria, 2013

—%—



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, 2014.
¹ Incluye: gas licuado y seco, gasolinas y naftas, querosenos, diesel, combustóleo y productos no energéticos.

3. Consumo de energía

El consumo final de energía total en 2013 fue de 5,132PJ, dividido en consumo final no energético (190.9PJ) y en consumo final energético (4,941.4PJ), de éste último, incluyendo la energía primaria y la secundaria, la energía renovable representó el 6.6%, la electricidad el 17.1%, y el restante 76.3% por la no renovable como lo son los petrolíferos, el gas seco, las gasolinas y naftas y el diesel. Entre la rama de las renovables, la leña y la caña tuvieron una participación del 78.7% y 19%, respectivamente, mientras que la solar tan sólo del 2.2%.

De forma sectorial, el sector transporte absorbió el mayor consumo de energía (45.9%), dominado por el consumo de petrolíferos. El sector industrial representó el 32.6%, utilizó en mayor proporción gas seco y electricidad. El sector residencial consumió 15%, en mayor cantidad leña (34.4%) y petrolíferos (34.8%), mientras que de energía solar sólo el 0.6%. El sector agrícola representó el 3.2%, utilizó primordialmente petrolíferos, siendo dominante el diesel. El sector comercial participó con 2.7%, consumió principalmente petrolíferos (52.2%) y electricidad (37.4%). Y el sector público participó con un 0.7% y consumió únicamente electricidad (véase Tabla 2).

Tabla 2 Consumo de energía por sector y tipo de energía, 2013

–participación porcentual–

Por sector económico	Por tecnología	
Transporte (45.87%)	Petroliferos	99.77%
	Gas seco	0.04%
	Electricidad	0.19%
Industrial (32.63%)	Gas seco	36.79%
	Electricidad	32.93%
	Coque total	10.10%
	Petrolíferos	8.42%
	Carbón	7.89%
	Bagazo de caña	3.84%
	Solar	0.02%
Residencial (15.03%)	Petroliferos	34.78%
	Leña	34.39%
	Electricidad	25.73%
	Gas seco	4.55%
	Solar	0.55%
Agropecuario (3.19%)	Petrolíferos	76.50%
	Electricidad	23.50%
Comercial (2.69%)	Petroliferos	52.18%
	Electricidad	37.42%
	Gas seco	8.34%
	Solar	2.06%
Público (0.68%)	Electricidad	100.00%

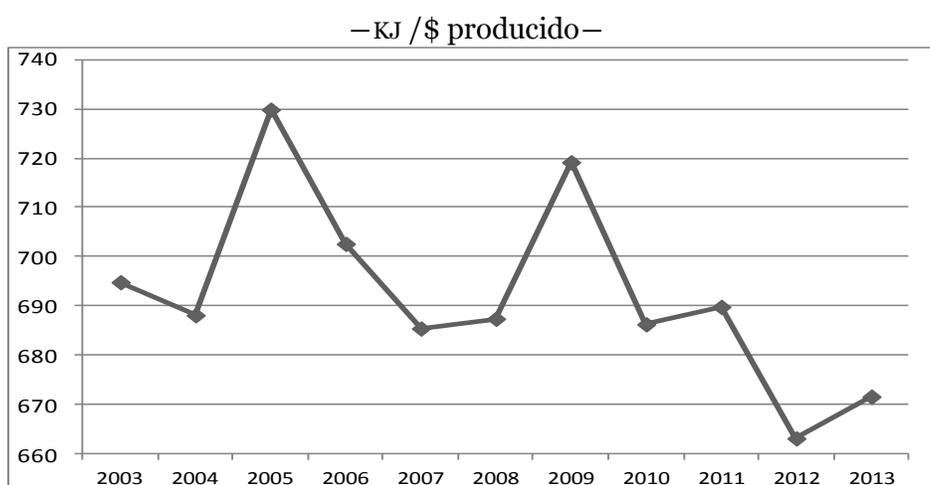
Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, 2014.

B. Intensidad energética

1. Evolución agregada

Uno de los indicadores que muestran la eficiencia en el sistema energético es la intensidad energética, ésta mide la cantidad de energía que se necesita para producir una unidad monetaria del PIB. El Gráfico 2 muestra la intensidad energética medida por kilojoules (KJ) de energía primaria consumida por unidad monetaria de producto entre 2003 y 2013. En ese período, la intensidad energética pasó de 694.9 a 671.7KJ, lo que sugiere la ausencia de desacoplamiento entre energía consumida y valor económico. No obstante, se observan dos picos en 2005 y 2009 en los que la intensidad energética llegó a 729.9 y a 719.3KJ, respectivamente, seguidos cada uno por un período en el que la intensidad energética disminuyó. De 2003 a 2011 la trayectoria de la intensidad energética presenta un comportamiento constante, sin embargo, en 2012 cae y en 2013 ésta vuelve a subir.

Gráfico 2 Intensidad energética, 2002-2012



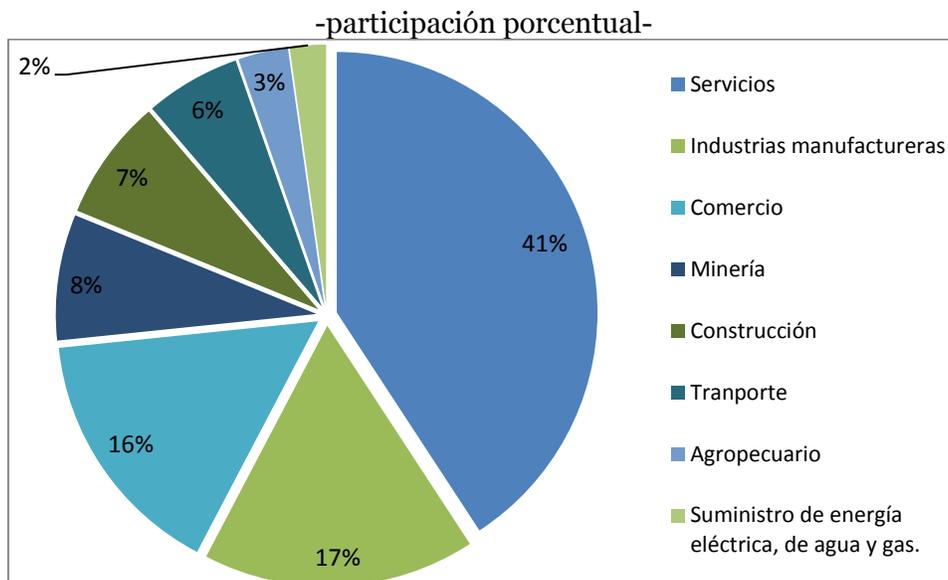
Fuente: elaboración propia con datos del SIE, 2014.

2. Evolución sectorial

En el Gráfico 3 se distingue la estructura del PIB, por sectores económicos, para 2013, en el que el sector servicios participó con el 41%, seguido por el industrial con 34% —conformado por las industrias manufactureras, la minería, la construcción y el suministro de electricidad, agua y gas—. El comercio aporta el 16%, el transporte 6% y el sector agropecuario únicamente el 3%. Según estos datos y asumiendo una correlación entre mayor contribución al PIB mayor consumo

de energía, se podría asumir que el sector que consume más energía es el de las industrias manufactureras y el de la minería.

Gráfico 3 Estructura del PIB* por sector, 2013



Fuente: elaboración propia con datos de inegi, 2014

Notas: *El PIB es el valor preliminar correspondiente al tercer trimestre de 2013.

El sector de transporte es el que más consume energía (45.9%, del total), y al ser su PIB no tan representativo presenta la mayor intensidad energética (3,296KJ/\$). Le sigue la industria con una participación de 33% en el consumo de energía, y una intensidad energética de 477KJ/\$. Le sigue el sector agropecuario 3% en el consumo de energía, pero una intensidad energética de 386.7KJ/\$. Por último está el sector comercial y público que consumen sólo el 3% de energía total, pero al ser los que más aportan al PIB tienen la menor intensidad energética (18.8KJ/\$). Hasta este tenor los sectores más intensivos de la matriz energética son el de transporte y la industria (véase Tabla 3).

En la misma Tabla 3 se observa que el sector de la construcción, es el que más aporta al PIB (990 mil millones) con un consumo de energía de 12.7PJ. En contraste, la industria de la fabricación de hierro y acero sólo aporta con 60.7 mil millones pero necesita 208PJ. Esto hace que sean los sectores industriales con menor y mayor intensidad energética, respectivamente. Además, se puede apreciar que la intensidad energética de la mayoría de los sectores industriales está por

arriba del nivel nacional (597.8KJ/\$), los ejemplos más representativos son la industria de la elaboración de azúcares (2,098KJ/\$), la de vidrio, papel, pulpa y cartón (3,294KJ/\$), la fabricación de vidrio y productos de vidrio (2,947KJ/\$) y la fabricación de cemento y productos de concreto (3,011KJ/\$).

Tabla 3 Intensidad energética en los sectores económicos, 2013
– PJ, mil millones de pesos y KJ /\$ producido–

Sectores	Energía (PJ)	PIB (miles de millones)	Intensidad energética KJ/\$	Sectores	Energía (PJ)	PIB (miles de millones)	Intensidad energética KJ/\$
Total	7,844.29	13,121.60	597.82	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	55.37	18.79	2,947.15
Energía no renovable	1,906.37	905.07	2,106.32	Fabricación de pulpa, papel y cartón	49.82	15.12	3,293.99
Eléctrico	1,548.30	253.28	6,112.95	Bebidas	31.50	103.92	303.17
Petroquímica de Pemex	307.34	166.39	1,847.13	Fabricación de automóviles y camionetas	13.98	192.02	72.80
Agropecuario	157.60	407.53	386.72	Construcción	12.72	990.34	12.84
Transporte	2,262.28	686.36	3,296.04	Fabricación de productos de hule	9.59	11.06	867.76
Aéreo	127.19	22.22	5,722.97	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos	1.15	8.93	129.23
Ferrocarril	26.61	16.21	1,641.53	Industria del tabaco	0.52	8.94	58.59
Marítimo	28.76	9.12	3,153.93	Fabricación de productos de hierro y acero	208.08	60.71	3,427.52
Autotransporte	2,079.73	638.81	3,255.62	Fabricación de cemento y productos de concreto	136.23	45.24	3,011.27
Total de la industria	1,495.93	3,133.37	477.42	Otros	756.33	1,361.99	555.31
Industria química	93.73	160.10	585.42	Servicios y comercio	133.05	7,080.76	18.79
Azúcares	65.43	31.18	2,098.51	Público	33.43	488.83	68.38
Minería de minerales metálicos y no metálicos	61.482	125.041176	491.69				

Fuente: elaboración propias en base a datos de INEGI y el Sistema de Información Energética, 2014.

C. La explotación petrolera

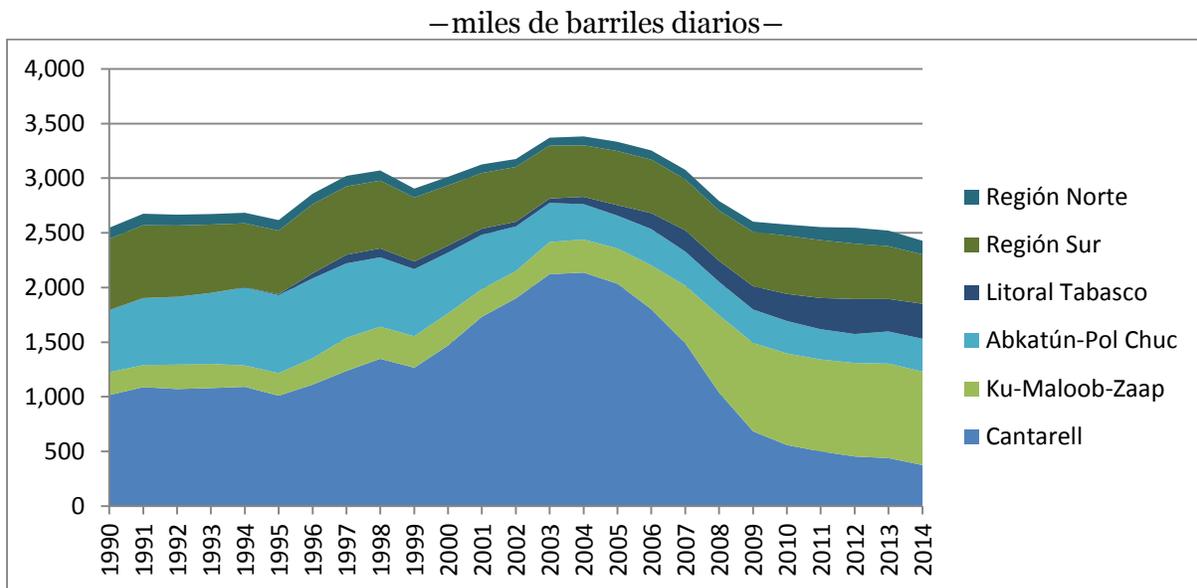
1. Evolución de la explotación petrolera

Actualmente la producción petrolera nacional presenta una tendencia decreciente, por ejemplo, las reservas de petróleo al primero de enero de 2014 registraron un nivel de 41,158.4 millones de barriles de petróleo crudo (sumando las reservas probadas, probables y posibles) registró una caída del 5.3%, respecto a 2013. Esto contrasta con el crecimiento de los campos productores de Pemex-exploración y producción a una tasa del 1.1%, de 2012 a 2013 (SENER, 2014). Además,

“la producción petrolera cerró el año 2014 con una producción promedio anual de 2.42 millones de barriles de petróleo diario, su nivel más bajo desde hace 28 años” (García, 2015).

La caída de la producción petrolera se debe principalmente a la declinación del yacimiento de Cantarell que en 2004 llegó a producir 2 millones de barriles de petróleo al día, mientras que el pico productivo del pozo Ku-Maloob-Zaap se registró en el año de 2013 y ahora va a la baja con una producción de 864 mil barriles diarios. Como se observa en el Gráfico 4 de 1990 a 2008 la región de Cantarell era la que más aportaba a la producción total, pero se ve superado por la producción de Ku-Maloob-Zaap, e inclusive por la producción de la región sur en el año 2012. La evolución de la producción petrolera, como ya se mencionó, alcanzó su pico productivo en 2004, con una declinación de 2004 a 2008 y una estabilización de 2008 a 2013, sin alcanzar los niveles de 2004, y en 2014 la producción comienza a decrecer.

Gráfico 4 Evolución de la producción petrolera por región



Fuente: elaboración propia con datos del SIE (2015).

2. Dependencia fiscal

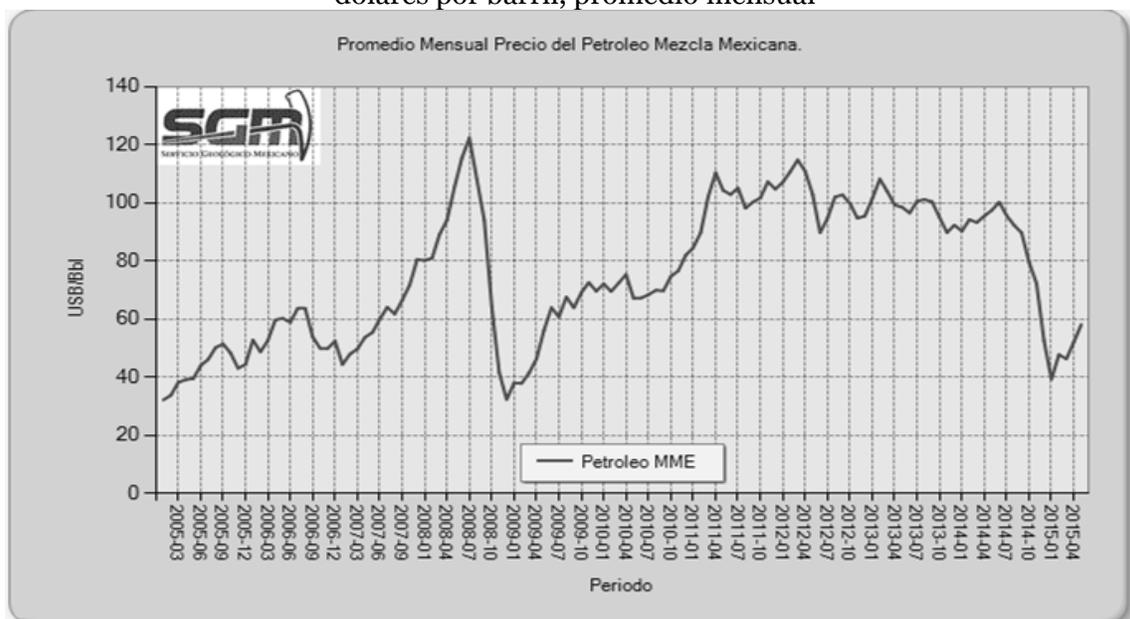
México se ha destacado por ser un petro-estado: el petróleo moldea su desarrollo institucional “el primer auge petrolero en México coincidió con la Revolución, un momento en el que (...) las instituciones políticas, económicas y sociales eran prácticamente inexistentes” (Rabasa, 2013; 41). El enfoque histórico muestra que desde 1920 el país se convirtió en exportador neto de

petróleo, años después los impuestos de las empresas petroleras se convirtieron en fuente fundamental de los ingresos gubernamentales. Es así que el objetivo del petro-estado fue maximizar la extracción de la renta petrolera. En 1978 con el descubrimiento de Cantarell el auge petrolero permitió llegar a lo que hoy conocemos como la etapa del milagro mexicano —el gasto gubernamental fue del 34.8% del PIB en 1977—, sin embargo, el gasto sobrepasó los ingresos petroleros. La débil capacidad estatal y otros factores llevaron a la crisis de los años ochenta (Rabasa, 2013).

En los primeros años del siglo XXI hubo un nuevo auge petrolero gracias al incremento en los precios del petróleo, si bien es cierto que en 2003 se alcanzó el pico productivo en la producción de barriles de petróleo, los ingresos petroleros se vieron beneficiados gracias al crecimiento de los precios del petróleo en el mercado internacional (de 16 dólares por barril en 1987 a 99 dólares en 2013 para el petróleo West Texas Intermediate (WTI), y 19 dólares por barril en 1987 a 108 dólares en 2013 para el petróleo Brent). En el Gráfico 5 se observa la evolución de los precios del petróleo para la mezcla mexicana, en 2005 comienza su crecimiento de los 40 a los 60 dólares, y alcanza su pico en el segundo trimestre de 2008 en más de 120 dólares, cae a finales de 2008 en 40 dólares por barril, pero comienza su recuperación en 2009 y se estabiliza en el período de 2011 a 2014 torno a los 100 dólares.

Gráfico 5 Evolución de los precios del petróleo de la mezcla mexicana

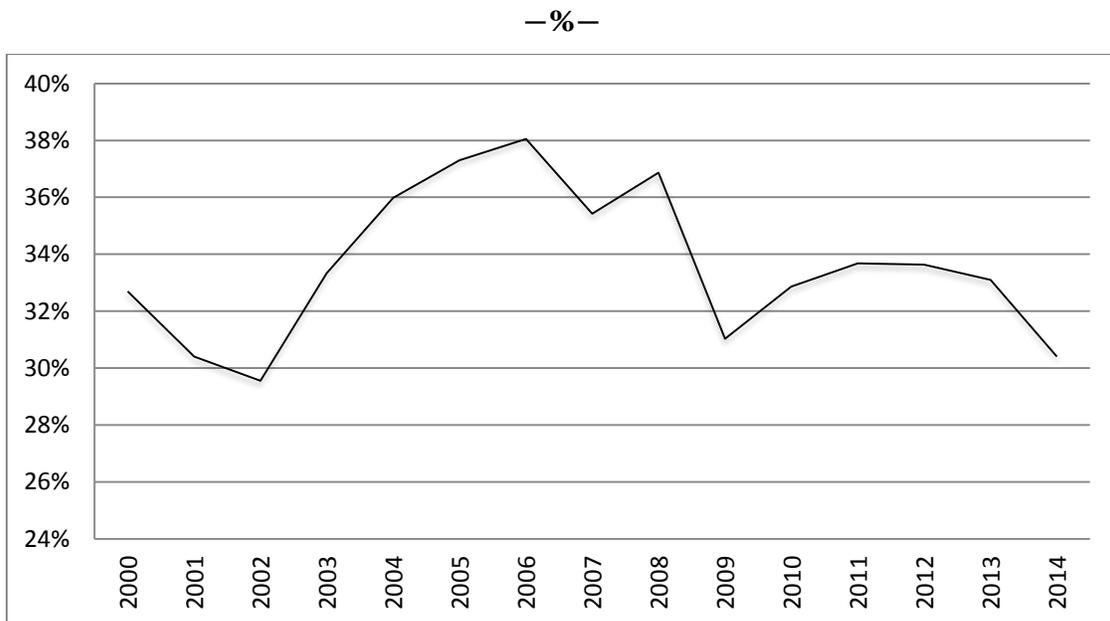
—dólares por barril, promedio mensual—



Fuente: tomado del Servicio Geológico Mexicano, Secretaria de Economía, 2015

En el año de 1992 la dependencia de las finanzas en los ingresos petroleros era de un 20%. Tras el incremento de los precios del petróleo en el sexenio de Vicente Fox, se generó un nuevo auge en los ingresos petroleros, sin embargo, esto agudizó la petrolización de las finanzas (Rabasa, 2013), aunque la habilidad recaudatoria del Estado disminuyó y la industria petrolera se debilitó, además el crecimiento de los ingresos tampoco lograron un crecimiento sostenido ni mayores niveles de bienestar para la población. Cómo se observa en el Gráfico 6 el crecimiento de los precios del petróleo se ve reflejada en la participación de los ingresos petroleros en las finanzas públicas, su participación crece a partir de 2003 (33.3%), alcanzando su máximo en 2006 (38%), con una caída en 2009 (31%) pero una recuperación de 2011 a 2013 (33%), sin alcanzar sus valores más altos, sin embargo, en 2014 comienza a caer (30%).

Gráfico 6 Evolución de la participación de los ingresos petroleros en el ingreso presupuestario del sector público



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), 2015.

3. Panorama actual

En 2013 el gobierno de Peña Nieto impulsó la Reforma Energética que tiene como objetivo principal la creación de un modelo de competencia en el sector energético a través de la participación del sector privado, así como el mantener a Pemex y a CFE como empresas productivas del Estado, atraer la inversión, generar un abasto energético a mejores precios, combatir la corrupción, impulsar el ahorro a largo plazo, etc. Es a partir de la ronda cero y la ronda uno que se espera la inversión del sector privado en la explotación del oro negro, sin embargo, ante la fuerte caída de los precios del petróleo a nivel global en 2014, las expectativas de la Reforma se ven reducidas. Esta caída que comenzó en 2014 llevó a que los precios del petróleo pasaran de los 105 dólares por barril en 2013 alcanzando un mínimo de los 37 dólares en 2015 (AFP, 2015). Esto a causa de que EE.UU. está produciendo cerca del doble del petróleo sobre lo que la generaba hace años, que a la vez provocó que los países de la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decidieran no bajar su producción petrolera y así fijaron los precios con una tendencia a la baja a pesar de los conflictos en Yemen y otros lugares del Medio Oriente.

Esta caída en los precios genera que “cada dólar que cae el precio del barril del petróleo recorta aproximadamente 300 millones de dólares la recaudación de la Secretaría de Hacienda” (Arreola, 2015) por lo que hasta diciembre de 2014 se esperaba un recorte presupuestal de mil millones de dólares. Además, “si la caída subsiste para 2016 el gobierno ya no podrá contratar coberturas para proteger las finanzas públicas (como lo hizo para 2015 al garantizar un precio promedio de 79 dólares) y habrá que aumentar el déficit o contraer gasto” (González, 2014). Esto y otros factores económicos han provocado recortes en la previsión del PIB de 2015 a 2.88% del 3.9% que se estimaba en febrero de 2014 (Rosales, 2015). Otro hecho histórico es el anuncio a principios de 2015 de la intensión de Pemex de importar petróleo crudo proveniente de EE.UU. de hasta 100 mil barriles de petróleo al día para optimizar el desempeño de las refinerías mexicanas, este hecho histórico enfatiza los últimos cambios ocurridos en el mercado de los hidrocarburos.

D. Potencial de las renovables

1. El Inventario Nacional de Energía Renovable

Cómo se ha mencionado anteriormente, la participación de la energía de fuente renovable es aún marginal, tanto en el ámbito de la producción como del consumo. Los sectores que más las

consumen son el sector residencial a través de la leña (255PJ) y el sector eléctrico que las transforma a electricidad (307PJ) —en éste dominó la geotermo-energía (131PJ) y la hidroenergía (101PJ) —. Datos contrastantes con el alto potencial territorial que tienen las renovables a lo largo del país, éstas tienen una alta viabilidad gracias a que el país es rico en recursos naturales, la distinta distribución de éstos a lo largo del territorio permite un desarrollo regionalizado de las renovables: al norte la solar, al centro la geotérmica y al sur la eólica, principalmente.

El Inventario Nacional de Energía Renovable (INER), instrumento de reciente creación, presenta la energía potencial probada (cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueba su facilidad de aprovechamiento), probable (cuenta con estudio de campo, pero que por sí solos no es suficiente para comprobar la factibilidad técnica y económica) y posible (potencial teórico) que podría producirse en nuestro país. Éste indica que en México se tienen los recursos naturales para producir energía de fuente renovable, principalmente solar y eólica. La energía solar exhibe un potencial físico de 5.5KW/h diariamente, llegando a ser de hasta 8.5KW/h. Ésta se puede aprovechar en dos modalidades tecnológicas, fotovoltaica y térmica. Entre los factores claves de su desarrollo se encuentra el desarrollo político, la reducción de costos, incentivos y desarrollo tecnológico. El INER indica que la infraestructura actual tiene un potencial probado en México de 1,825Gwh/a (10.10% de la energía renovable total probada), pero éste podría llegar a ser mayor a los 6 millones de GWh/a lo que representaría un 97.4% de la energía renovable total posible lo que demuestra una alta explotación futura (véase Tabla 4).

La energía eólica, junto a la hidroeléctrica, es una de las tecnologías más desarrolladas en el país. En México existe un potencial probado de 11,621GWh/a (64.3% de la energía renovable total probada) llegando a ser de hasta 87,600GWh/a (1.3% de la energía renovable total posible) (ver Tabla 4). La biomasa se utiliza principalmente en el sector residencial y en el industrial, caracterizada por el uso principal de leña y bagazo de caña, respectivamente. En México, la participación en capacidad instalada se ha triplicado en 10 años, pero con una caída los últimos tres y una estabilización en 2012. El potencial es de 391GWh/a (3.4% de la energía renovable total probada) llegando a ser de hasta 11,485GWh/a, (menor que 1% de la energía renovable total posible). La energía geotérmica presenta una mayor cantidad de ventajas, gracias a una producción mínima de residuos y un menor impacto ambiental. Su fuente de explotación se encuentra cerca de lugares volcánicos por su relación con la actividad geológica. El potencial

geotérmico es de 514Gwh/a (0.28% de la energía renovable total probada) llegando a ser de hasta 76,799Gwh/a (1.15% de la energía renovable total posible) (véase Tabla 4).

Tabla 4 Potencial de generación eléctrica por energías renovables, 2014

–GWH/A, %–

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Eólica	Solar	Biomasa	Total
Probado	514	3,498	11,621	1,825	607	18,065
	2.85%	19.36%	64.33%	10.10%	3.36%	100%
Probable	60,286	23,028	n.d.	n.d.	391	83,705
	72.02%	27.51%	n.d.	n.d.	0.47%	100%
Posible	76,799	n.d.	87,600	6,500,000	11,485	6,675,884
	1.15%	n.d.	1.31%	97.37%	0.17%	100%

Fuente: tomado del Inventario Nacional de Energía Renovable (INER), mayo de 2014.

Capítulo III. Modelación insumo-producto con la matriz de energía

En el presente capítulo se explica el procedimiento desarrollado por Bullard y Herendeen (1975a y 1975b) para medir lo que llaman “costo energético”, o la cantidad total de energía que se necesita para entregar el producto a la demanda final (en su caso para la economía de Estados Unidos de los años sesenta). En dicho trabajo desarrollan la matriz de insumo-producto de energía motivados por conocer el estado de la conservación energética en los procesos productivos a través de medir el consumo directo, indirecto y final de energía. Este análisis de intensidad lo basan en el principio de lo que ellos llaman el análisis vertical, que mide el consumo energético en cada proceso productivo y que se relaciona con el análisis de ciclo vida.

Esta tesis sigue más de cerca la metodología presentada en Miller, R. y Blair, P. (2009) que expone el modelo básico de energía, que a su vez se basa en Bullar y Herendeen (1975a). El primer apartado de este capítulo explica el modelo básico de insumo-producto desarrollado por Leontief. El segundo desarrolla el modelo con el enfoque energético basado en unidades híbridas y en la condición de conservación de energía. El tercer apartado expone un ejemplo numérico de esta modelación, que se utilizará en el capítulo que sigue.

A. Modelación básica de insumo-producto

En la modelación de la economía de insumo-producto (EIP) se cuantifica el nivel de actividad económica intersectorial en un momento determinado. Dicha modelación escribe en una tabla de doble entrada (denominado matriz) la distribución intersectorial de la producción de n sectores, así como la cantidad de insumos requeridos por éstos. En las filas se distribuyen las ventas y en las columnas las compras. Ésta, además; está compuesta por un vector columna de demanda final (\mathbf{f}) (que describe la cantidad de bienes vendidos a los sectores de consumo privado (C) y de gobierno (G), además de la inversión (I), y por un vector fila de valor agregado (\mathbf{va}) que cuantifica otros insumos, como la mano de obra, la depreciación de capital y las importaciones. El modelo básico que aquí se expone es de una economía cerrada por lo que no se cuantifican las exportaciones y las importaciones. Formalmente la estructura matemática de la matriz de insumo-producto (MIP) es un sistema de n ecuaciones lineales con n incógnitas, que se puede resolver a través del algebra matricial (Miller y Blair, 2009).

El modelo básico representa una economía de n sectores y las transacciones interindustriales (*i.e.* compras y ventas entre los sectores i y j) son representadas por $\mathbf{Z}=[z_{ij}]$. La producción del sector i -ésimo se denota por x_i y su demanda final por f_i . El sistema de ecuaciones 3.1 describe la distribución de la producción entre las ventas del sector i al j (para n sectores) y la demanda final, y la expresión 3.2 la describe de forma matricial.

$$\begin{aligned} x_1 &= z_{11} + \cdots + z_{1j} + \cdots + z_{1n} + f_1 \\ &\quad \vdots \\ x_i &= z_{i1} + \cdots + z_{ij} + \cdots + z_{in} + f_i \\ &\quad \vdots \\ x_n &= z_{n1} + \cdots + z_{nj} + \cdots + z_{nn} + f_n \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix} \text{ y } \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

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

Con base en lo anterior, el valor total de la actividad económica se puede representar como la suma de las ventas intersectoriales (demanda intermedia) más la demanda final (véase ecuación 3.3). Por otro lado el valor total de actividad económica se puede presentar como la suma de las compras más los pagos a los factores de la producción (salarios y pagos al capital) representados por $w_1 + w_2$ (véase ecuación 3.4).

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + c_i + I_i + G_i \quad (3.3)$$

$$\mathbf{x}_j = \sum_{j=1}^n z_{ji} + w_1 + w_2 \quad (3.4)$$

Los supuestos más importantes de este modelo básico es que describe un equilibrio estático para una economía cerrada, cuyas funciones de producción exhiben una economía con rendimientos constantes a escala, representados por proporciones fijas del coeficiente técnico $a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$, que mide el valor monetario de un insumo requerido para producir una unidad monetaria del producto (x_j). Por ejemplo, el cociente del valor monetario del acero comprado por la industria de la construcción y el valor de la producción de la industria de la construcción. Al mantener la

proporción constante, se asume que no se necesitan más o menos insumos por unidad de producto cuando varia la escala de producción, por lo que la magnitud de los flujos interindustriales depende completamente de la escala de producción sectorial; es decir, si aumenta el nivel de producción del sector j , la cantidad de insumos necesarios lo hará en la misma proporción.

El coeficiente técnico también se puede leer como $z_{ij} = a_{ij}x_j$, lo que implica que las transacciones intersectoriales (\mathbf{Z}) se determinen con el producto de la matriz de coeficientes técnicos (\mathbf{A}) y el nivel del producto ($\widehat{\mathbf{X}}$). Sustituyendo esta expresión en 3.1 se obtiene el sistema de ecuaciones 3.5, que en forma matricial se lee como en 3.6, en dicha expresión el nivel del producto se lee en términos de \mathbf{A} y \mathbf{f} , y ésta conforma la identidad central del modelo insumo-producto básico.

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + \cdots + a_{1j}x_j + \cdots + a_{1n}x_n + f_1 \\ &\quad \vdots \\ x_i &= a_{i1}x_1 + \cdots + a_{ij}x_j + \cdots + a_{in}x_n + f_i \\ &\quad \vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + \cdots + a_{nj}x_j + \cdots + a_{nn}x_n + f_n \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{X}} + \mathbf{f} \quad (3.6)$$

Para determinar cuánto ha de aumentar o disminuir el nivel de producción de insumos si la demanda final de uno o varios bienes cambia, se ha de calcular la matriz “Inversa de Leontief”. Para ello se envían todos los términos que contienen x a la izquierda y la demanda final a la derecha (véase ecuación 3.7). Después el vector \mathbf{x} se factoriza y la demanda se puede expresar como en 3.8, y por último, ambos lados de la ecuación se pre-multiplican por $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ denominada como la “Inversa de Leontief”, donde la matriz \mathbf{I} es la matriz identidad de dimensión $n \times n$ (véase ecuación 3.9).

$$\mathbf{x} - \mathbf{A}\widehat{\mathbf{X}} = \mathbf{f} \quad (3.7)$$

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\widehat{\mathbf{X}} = \mathbf{f} \quad (3.8)$$

$$\widehat{\mathbf{X}} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} \quad (3.9)$$

Para poder realizar este procedimiento, la matriz $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$ debe de tener inversa, por lo que ha de ser cuadrada, sus vectores columna linealmente independientes, y su determinante diferente de cero. La ecuación 3.9 es la solución al sistema de ecuaciones 3.1.

B. Matriz de insumo-producto de energía

En Bullard y Herendeen (1975a y 1975b) los autores se preguntan ¿cuál es el costo energético de la producción de bienes y servicios de la economía de EE.UU.? Para determinarlo, desarrollan un modelo de insumo-producto de energía que describe el flujo físico de materiales y de energía a través del uso de unidades híbridas sujeto a la condición de conservación de energía. Este proceder les permite medir la intensidad energética por sector y tipo de energía, y les garantiza una contabilidad coherente de los flujos físico-energéticos en la economía (Miller y Blair, 2009; 400-401).

El costo energético mide la cantidad de energía requerida de forma directa e indirecta por toda la economía para obtener la producción necesaria que satisface una unidad de demanda final. La energía requerida de forma directa es aquella consumida en el proceso productivo, y la indirecta es la incorporada en los insumos no energéticos utilizados en éste. Por ejemplo, en la producción de automóviles la energía directa sería la requerida para el montaje, y la indirecta es la energía que se necesitó para producir las piezas a ensamblar (Miller y Blair, 2010; 402).

1. La matriz de flujo energético

La matriz híbrida está compuesta por los flujos de energía en unidades monetarias y físicas. Por lo que son necesarias dos matrices: la MIP clásica y la Matriz de Flujo Energético (MFE). Ésta última está representada en el sistema de ecuaciones 3.10 conformado por m sectores energéticos y n sectores económicos. Las transacciones energéticas entre los sectores energéticos y no energéticos están representadas por $\mathbf{E} = [e_{ij}]$, y, como $n > m$, la matriz \mathbf{E} no será cuadrada sino de dimensión $m \times n$. El consumo energético por su parte se denota con g_i y la demanda final con q_i , por lo que \mathbf{q} y \mathbf{g} son vectores de dimensión $m \times 1$. En 3.10 se describe la distribución de las ventas de energía del sector energético i a los m sectores económicos j , y a la demanda final. En forma matricial queda denotado en la ecuación 3.11.

$$\begin{aligned} g_1 &= e_{11} + \cdots + e_{1j} + \cdots + e_{1n} + q_1 \\ &\quad \vdots \\ g_i &= e_{i1} + \cdots + e_{ij} + \cdots + e_{in} + q_i \\ &\quad \vdots \\ g_m &= e_{m1} + \cdots + e_{mj} + \cdots + e_{mn} + q_m \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_1 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E} = \begin{bmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix}, \quad \text{y } \mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{E} + \mathbf{q}$$

Al igual que el proceder en el modelo básico, se calculan variables $h_{ij} = \frac{e_{ij}}{g_j}$ que se leen como la cantidad de energía de tipo i consumida que se destina a la producción de j . De igual forma, esta expresión también se puede leer como $e_{ij} = h_{ij}g_j$ que se sustituye en 3.10 para obtener el sistema 3.12, que en términos matriciales se lee como en 3.13.

$$\begin{aligned} g_1 &= h_{11}g_1 + \cdots + h_{1j}g_j + \cdots + h_{1n}g_n + q_1 \\ &\quad \vdots \\ g_i &= h_{i1}g_1 + \cdots + h_{ij}g_j + \cdots + h_{in}g_n + q_i \\ &\quad \vdots \\ g_m &= h_{m1}g_1 + \cdots + h_{mj}g_j + \cdots + h_{mn}g_n + q_m \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{H}\hat{\mathbf{G}} + \mathbf{q} \quad (3.13)$$

Como la matriz E y H no son cuadradas no se puede calcular un símil a la matriz “Inversa de Leontief” y por tanto no se puede continuar con el proceder, sin embargo, este sistema sirve para estudiar las transacciones sectoriales de energía.

2. Condición de conservación de energía y costo energético

La condición de conservación de energía se refiere a la relación existente entre la energía primaria y la secundaria durante el proceso productivo y de transformación. Dicha condición se observa cuando “la energía contenida en la producción de un sector es igual a la suma de la energía contenida en sus insumos más la extraída de la tierra por ese sector” (Bullard y Herendeen, 1975a; 485). En otras palabras, “el modelo de insumo-producto energético debe de incluir la condición de que la intensidad de energía primaria consumida por un producto debe de ser igual a la intensidad de la energía secundaria más las pérdidas de la conversión energética...esta condición será un determinante fundamental en evaluar si la formulación del modelo muestra con precisión los flujos de energía en la economía” (Miller y Blair, 2010; 403).

Antes de construir la matriz de costo energético ($\mathbf{\Gamma}$), se definirá la ecuación de conservación de energía. Primero se supone que $\mathbf{\Gamma}$ existe, y entonces la condición de conservación de energía

estará dada por la igualdad entre la energía incorporada en la producción del sector j , y la contenida en los insumos que recibe, denotados por z_{ij} para $i= 1, \dots, n$ más el insumo de energía primaria de tipo k , denotados por g_{kj} . Para esta última expresión, los elementos de la matriz \mathbf{G} cumplen la condición de que los sectores de energía k y los sectores no energéticos j se refieren al mismo sector y los demás elementos son cero, es decir la matriz \mathbf{G} sólo expresa el consumo de energía primaria, (Miller y Blair, 2010; 404).

$$\Gamma_{kj}x_j = \sum_{i=1}^n \Gamma_{ki}z_{ij} + g_{kj} \quad (3.14)$$

Donde:

Γ_{kj} es la cantidad total de energía k que la economía necesita para satisfacer un dólar de demanda final del producto del sector j .

x_j es la producción total en dólares del sector j

z_{ij} es el valor en dólares del producto del sector i consumido por el sector j

g_{kj} es el producto total de energía del sector de energía primaria consumido por el sector j

Que en términos matriciales se lee como $\mathbf{\Gamma}\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{\Gamma}\mathbf{Z} + \hat{\mathbf{G}}$. Como la ecuación 3.15 es semejante a la identidad central del modelo clásico se sigue el mismo procedimiento, se sustituye 3.15 en 3.14 y se obtiene la ecuación 3.16. Para obtener el coeficiente $\mathbf{\Gamma}$, primero se procede a mover los términos que contienen a $\hat{\mathbf{X}}$ a la izquierda y da como resultado la ecuación 3.17, que también se puede leer como en 3.18, después se post-multiplica $\hat{\mathbf{X}}^{-1}$ en ambos lados de la ecuación y se obtiene la ecuación 3.19. Por último, se post-multiplica ambos lados de la ecuación por $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, que da como resultado la ecuación 3.20. Ésta es la matriz de costo energético que Miller y Blair denominan “matriz de requisitos totales de energía” conformada por la suma de los requisitos directos e indirectos de energía en un sector productivo a través de los insumos utilizados.

$$\mathbf{Z} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{X}} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{\Gamma}\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{\Gamma}\mathbf{A}\hat{\mathbf{X}} + \mathbf{G} \quad (3.16)$$

$$\mathbf{\Gamma}\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{\Gamma}\mathbf{A}\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{G} \quad (3.17)$$

$$\mathbf{\Gamma}(\mathbf{I} - \mathbf{A})\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{G} \quad (3.18)$$

$$\mathbf{\Gamma}(\mathbf{I} - \mathbf{A}) = \mathbf{G}\hat{\mathbf{X}} \quad (3.19)$$

$$\Gamma = \mathbf{G}\hat{\mathbf{X}}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (3.20)$$

3. Construcción básica de la matriz en unidades híbridas

Después que se obtuvo la “matriz de requisitos totales de energía” se definen a las matrices híbridas como la combinación de la MIP y MFE, antes descritas. Donde las transacciones interindustriales, el consumo con la demanda final, y el producto energético y económico estarán representados por \mathbf{Z}^* , \mathbf{f}^* y $\hat{\mathbf{X}}^*$. En la Tabla 5 se muestra la composición de cada matriz híbrida, así como sus unidades de medida para una economía 2x2. La matriz de transacciones \mathbf{Z}^* se construye sustituyendo en la matriz de flujos económicos la matriz de flujos energéticos. Lo mismo sucede con los vectores \mathbf{f}^* y \mathbf{x}^* , y la matriz \mathbf{G}^* (véase Tabla 5).

La notación de las matrices híbridas se sustituye en 3.20, y por 3.21 “las unidades de la matriz Γ se interpretan como petajoule/petajoule para los sectores energéticos y petajoule/dólar para los sectores no energéticos, Γ se lee como la cantidad de energía que necesita toda la economía para producir una unidad monetaria del producto j , entregado a la demanda final”.

Tabla 5 Composición de las matrices híbridas

$\mathbf{Z}_{n \times n}^* = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$ <p>z_{ij} donde i son sectores no energéticos e_{kj} donde k son sectores energéticos</p>	$\mathbf{f}_{n \times 1}^* = \begin{bmatrix} q_k \\ f_i \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$ <p>f_i donde i es un sector no energético q_k donde k son sectores energéticos</p>
$\mathbf{x}_{n \times 1}^* = \begin{bmatrix} g_k \\ x_i \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$ <p>x_i donde i es un sector no energético g_k donde k son sectores energéticos</p>	$\mathbf{G}_{n \times 1}^* = \begin{bmatrix} g_k \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$ <p>0 es de los sectores no energéticos g_k es de los sectores energéticos</p>

Fuente: tomado de Miller y Blair, 2009.

Ya sea con 2 o n sectores, el primer cuadrante correspondiente a las transacciones entre el sector energético se lee como petajoules por unidad de petajoule. El segundo cuadrante, correspondiente a las transacciones del sector energético al no energético, se lee como petajoules que se necesitan para satisfacer una unidad de producto que se destina a la demanda final. El tercer cuadrante, se lee como dólar por unidad de petajoule. Y el cuarto cuadrante, se lee como dólares por unidad de dólar producido para satisfacer a la demanda final (Miller y Blair, 2010; 406).

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{Z}^* \mathbf{X}^{-1*} = \begin{bmatrix} 1) \text{PETAJOULE/PETAJOULE} & 2) \text{PETAJOULE}/\$ \\ 3) \$/\text{PETAJOULE} & 4) \$/\$ \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

En la ecuación 3.22 la matriz “Inversa de Leontief” asume la misma interpretación que en 3.21. La construcción de $\mathbf{G}(\mathbf{X}^{*-1})$ queda conformada por una matriz de unos y ceros lo que permite extraer las filas de energía tanto de \mathbf{L}^* como de \mathbf{A}^* . Es decir, se extrae una matriz conformada únicamente por los coeficientes totales de energía y una conformada por los coeficientes directos de energía, respectivamente, ecuación 3.23 y 3.24.

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{G}\widehat{\mathbf{X}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (3.22)$$

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{G}\widehat{\mathbf{X}}^{-1} \mathbf{L}^* \quad (3.23)$$

$$\mathbf{\Delta} = \mathbf{G}\widehat{\mathbf{X}}^{-1} \mathbf{A}^* \quad (3.24)$$

C. Ejemplificación con una economía de 3 sectores

Sean los datos para una economía compuesta por 3 sectores energéticos y un sector industrial (petróleo crudo, derivados del petróleo, electricidad y la industria) el primero corresponde a un sector de energía primaria y los dos siguientes de energía secundaria. Los flujos económicos y energéticos están representados en la Tabla 6. En términos del flujo monetario, el sector de petróleo crudo produce 13 unidades monetarias, los cuales se obtienen de vender crudo al sector de derivados del petróleo y el de electricidad, que se encargan de transformarlo a energía secundaria. Lo mismo aplica para los demás sectores energéticos. El sector de la industria produce 28 unidades a través de la venta de una unidad al sector de derivados, 2 al eléctrico, 10 al mismo industrial y 15 a la demanda final. Del lado de las compras el sector de petróleo crudo compra como insumos 5 unidades de derivados y 4 de electricidad, el de electricidad 5 de crudo, 3 de derivados, 2 del mismo sector eléctrico y 2 de la industria. La suma de ambos lados da un producto total de 100 unidades.

Respecto al flujo energético, se producen 45PJ de petróleo crudo, los cuales 30 los consume para transformación el sector de derivados y 15 el eléctrico, como se cumplen las condiciones de conservación de energía, el sector de derivados produce 30PJ provenientes del crudo, de esos: 3PJ se los vende a sector de petróleo crudo, 9PJ los consume el mismo sector, 0PJ se van al sector de

electricidad, 10PJ al de industria y 8PJ a la demanda final. Siguiendo el principio de condiciones de conservación de energía, el sector eléctrico al consumir 15PJ de crudo produce 15PJ de electricidad de los cuales se consumen 4PJ por el sector de derivados, 5PJ por el mismo sector, 2PJ por la industria y 4PJ se van a demanda final. En esta economía el sector industrial demanda en mayor cantidad los derivados del petróleo, y una menor cantidad de electricidad.

Tabla 6 Economía de tres sectores energéticos y uno no energético

Flujo monetario						
	Petróleo crudo	Derivados del petróleo	Electricidad	Industria	Demanda final	Producto/ Consumo total
Petróleo crudo	0	8	5	0	0	13
Derivados del petróleo	5	5	3	2	15	30
Electricidad	4	2	2	3	18	29
Industria	0	1	2	10	15	28
Total	9	16	12	15	48	100
Flujo energético						
Petróleo crudo	0	30	15	0	0	45
Derivados del petróleo	3	9	0	10	8	30
Electricidad	0	4	5	2	4	15
Total	3	43	20	12	12	90

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 7 se presentan las matrices híbridas \mathbf{Z}^* , $\widehat{\mathbf{X}}^*$ y \mathbf{G}^* , y el vector \mathbf{f}^* . Se observa que la composición de las matrices híbridas es acorde a su definición, como una combinación de las matrices de flujos monetarios con los flujos energéticos. Por ejemplo, de la matriz \mathbf{Z}^* las primeras 3 filas corresponden al flujo energético y la cuarta fila al flujo económico, lo mismo sucede con $\widehat{\mathbf{X}}^*$ y \mathbf{f}^* . La matriz \mathbf{G} corresponde al vector de consumo final de energía diagonalizado, como se ve es muy similar a la matriz $\widehat{\mathbf{X}}^*$, pero sin la última fila, esta propiedad permite que \mathbf{GX}^{*-1} sea una matriz de unos y ceros.

Tabla 7 Matrices híbridas

$$Z^* = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 15 & 0 \\ 3 & 9 & 0 & 10 \\ 0 & 4 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 10 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$$

$$X^* = \begin{bmatrix} 45 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 28 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$$

$$f^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 8 \\ 4 \\ 15 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$$

$$G^* = \begin{bmatrix} 45 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \text{PETAJOULE} \\ \$ \end{matrix}$$

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8, se muestran los resultados de las principales operaciones, por ejemplo, los valores de la matriz inversa de \hat{X}^* , y la matriz de coeficientes técnicos A^* (Panel A y C). También muestra las unidades en que deben de ser interpretados los datos, según la ecuación 3.12. Por ejemplo, En el Panel C, el primer cuadrante (PJ/PJ) de la matriz A^* que corresponde a los sectores energéticos, dice que se utilizan 0.07PJ de derivados del petróleo para producir una unidad de petróleo crudo, en el segundo cuadrante (PJ/\$) se interpreta que se necesitan 0.4PJ de derivados para producir una unidad monetaria del sector industrial, el tercer cuadrante \$/PJ dice que se gastan 0.03 unidades monetarias en industria para producir una unidad energética de derivados del petróleo, en el cuatro cuadrante (\$/\$) se requieren 0.36 unidades monetarias en la misma industria para producir una unidad monetaria de dicha industria. En el Panel D, los valores de la matriz Δ corresponden a la matriz anterior, pero al ser pre-multiplicados por $G\hat{X}^{*-1}$ se extraen sólo los primeros dos cuadrantes, los que son de interés para el modelo de insumo-producto de energía.

La matriz de coeficientes totales de energía (Panel F) también se interpreta de acuerdo a la ecuación 3.21 (pero considerando que los coeficientes incluyen los requisitos directos e indirectos de energía y la matriz gamma extrae los datos de los dos primeros cuadrantes) la cuarta columna lee que toda la economía necesita 1.37 unidades de petróleo crudo para producir una unidad monetaria del sector industrial, que se va a la demanda final. Como se cumple la condición conservación de energía, de esas 1.37 unidades, 0.99 unidades corresponden a derivados del petróleo y 0.38 unidades a electricidad.

Tabla 8 Resultados principales e interpretación

<p>Panel A</p> $(\hat{x}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} .02 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & .03 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & .07 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & .04 \end{bmatrix}$ $(\hat{x}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/PJ & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 1/PJ & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 1/PJ & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & 1/\$ \end{bmatrix}$	<p>Panel B</p> $G\hat{x}^{*-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 1 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \end{bmatrix}$ $G\hat{x}^{*-1} = \begin{bmatrix} PJ/PJ & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & PJ/PJ & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & PJ/PJ & & 0 \end{bmatrix}$
<p>Panel C</p> $A^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.5 & & 0.2 \\ .07 & .30 & 0 & & .4 \\ 0 & .13 & .33 & & .07 \\ 0 & .03 & .13 & & .36 \end{bmatrix}$ $A^* = Z^*X^{-1*} = \begin{bmatrix} PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ \$/PJ & \$/PJ & \$/PJ & & \$/\$ \end{bmatrix}$	<p>Panel D</p> $\Delta = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & & 0 \\ 0.07 & 0.30 & 0 & & 0.36 \\ 0 & 0.13 & 0.33 & & 0.07 \end{bmatrix}$ $\Delta = GX^{*-1} A^* = \begin{bmatrix} PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \end{bmatrix}$
<p>Panel E</p> $(I - A^*)^{-1} = \begin{bmatrix} 1.14 & 2.07 & 1.98 & & 1.37 \\ 0.11 & 1.71 & 0.37 & & 0.99 \\ 0.02 & 0.36 & 1.61 & & 0.38 \\ 0.01 & 0.16 & 0.35 & & 1.69 \end{bmatrix}$ $(I - A^*)^{-1} = \begin{bmatrix} PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ \$/PJ & \$/PJ & \$/PJ & & \$/\$ \end{bmatrix}$	<p>Panel F</p> $\Gamma = G^*X^{-1}(I - A^*)^{-1} = \begin{bmatrix} 1.14 & 2.07 & 1.98 & & 1.37 \\ 0.11 & 1.71 & 0.37 & & 0.99 \\ 0.03 & 0.36 & 1.61 & & 0.38 \end{bmatrix}$ $\Gamma = \begin{bmatrix} PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \\ PJ/PJ & PJ/PJ & PJ/PJ & & PJ/\$ \end{bmatrix}$

Fuente: elaboración propia.

Capítulo IV. Modelo unidades híbridas en la economía mexicana

Para poder determinar los patrones de consumo energético por tipo de tecnología y sector económico, haciendo una distinción entre energía renovable y no renovable. Es importante no perder de vista la relación entre la energía y otros procesos. El uso de recursos no se ha de medir sólo como acervos sino también como flujos. Esto permitirá entender el uso energético, el nivel de cambio en el consumo y el estado de interdependencia, así como medir la habilidad de transformación, distinguiendo entre la energía renovable y la no renovable. Con base en lo anterior, se construyó la Matriz de Flujo Energético (MFE) para la economía mexicana, a través de los datos presentados en la matriz de origen y destino del Balance Nacional de Energía (BNE) de 2008. Ésta permitió realizar, para México, el modelo de insumo-producto de energía con unidades híbridas, presentado en el capítulo anterior. Que a la vez nos permitió identificar los sectores con mayor dependencia en energía de fuente fósil, en los cuales se podría comenzar la transición energética.

El primer apartado de este capítulo expone los componentes de la Oferta Interna Bruta de Energía (OIBE) así como su distribución, con el fin de comprender la construcción de la MFE. El segundo explica cómo se cumple la condición de conservación de energía para la economía mexicana. El tercero analiza el consumo final de energía de los sectores económicos a través de la MFE. Y el cuarto expone los resultados de la modelación, tanto de la matriz de coeficientes directos como indirectos de energía.

A. Fuentes y distribución de la Oferta Bruta de Energía

1. Fuentes domésticas y externas de la oferta bruta de energía

Para comprender el movimiento de los flujos energéticos la Tabla 9 muestra un fragmento del BNE. La Oferta Interna Bruta de Energía (OIBE) está compuesta por la producción de energía primaria (E.PRI) —que se manda a un proceso de transformación que genera energía secundaria (E.SEC) —, el flujo de las importaciones y exportaciones, así como de la variación de inventarios, la energía no aprovechada y otras. La producción total de E.PRI fue de 9,965PJ, (la producción total de E.SEC en esta tabla no se registra) se importaron 236 y 1,647PJ de E.PRI y E.SEC, respectivamente. La suma de éstas más la “de otras fuentes” y la “variación de inventarios” resultó en una Oferta Total de Energía de 10,842PJ y 1,584PJ, respectivamente, en total 12,426PJ.

De los cuales de E.PRI se exportaron 3,290PJ y de E.SEC 364PJ. Esto generó una OIBE de 7,206 y 1,220PJ, respectivamente, un total de 8,426PJ.

Tabla 9 Fuentes domésticas y externas de la oferta bruta de energía, 2008

–petajoules–

	No Renovable	Renovable	Energía primaria	Derivados de la no renovable	Electricidad	Energía secundaria	Total
Producción	9,299.07	666.16	9,965.23	0.00	0.00	0.00	9,965.24
De otras fuentes	653.31	0.00	653.31	0.00	0.00	0.00	653.31
Importación	236.85	0.00	236.85	1,646.13	1.42	1,647.55	1,884.41
Variación de inventarios	-13.30	0.00	-13.30	-63.18	0.00	-63.18	-76.49
Oferta total	10,175.93	666.16	10,842.09	1,582.95	1.42	1,584.37	12,426.46
Exportación	-3,290.67	0.00	-3,290.67	-335.16	-29.17	-364.33	-3,655.00
No aprovechada	-344.28	-1.08	-345.36	0.00	0.00	0.00	-345.36
Maquila-intercambio neto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Oferta interna bruta	6,540.98	665.08	7,206.06	1,247.79	-27.75	1,220.04	8,426.10

Fuente: elaboración propia con base en el BNE, 2008

La Tabla 10 muestra la distribución de la OIBE por tipo de tecnología y por proceso de transformación. En la última columna se registra la OIBE total (8,426PJ) de los cuales, en forma vertical, 211PJ corresponden a diferencia estadística y pérdidas, 1,340PJ se consumen por parte del sector energético para el funcionamiento de sus instalaciones, mientras que 1,744PJ se destinan a transformación y 5,129PJ son para consumo final de energía. Igual, de forma vertical, pero por tipo de energía (primaria y secundaria), la OIBE fue de 7,206 y 1,220PJ, respectivamente. De los cuales en diferencia estadística y pérdidas se contabilizaron -65.2 y -145.9PJ, respectivamente.

En la columna de energía primaria el sector de energía no renovable consumió 882PJ para el funcionamiento de sus instalaciones, (lo que denominaremos a lo largo del capítulo como consumo propio), mientras que a la etapa de transformación se destinaron 5,709PJ (5,021 a derivados y 689 a electricidad), y se consumieron 548PJ por parte de los sectores económicos y la demanda final. En la columna de energía secundaria el sector de la no renovable consumió 457PJ, en la etapa de transformación se produjeron 3,966PJ (4,500 de derivados y -534 de electricidad) y la demanda para consumo final fue de 4,582PJ.

Otra forma de explicarlo es leyendo de forma horizontal la etapa de transformación: de los 5,709PJ de E.PRI absorbidos, se generó un producto neto de 3,966PJ de E.SEC, conformado por 2,999PJ de derivados y 966PJ de electricidad, dejando un saldo de 1,744PJ, que se pueden asociar a la energía necesaria para llevar a cabo la transformación. Igual, leyendo de forma horizontal, el sector de derivados necesitó 5,021PJ de E.PRI, de los cuales, 4,500PJ se transformaron en derivados y se asume que 521PJ se destinaron a consumo propio; de los 4,500 de derivados 1,500 se destinaron al sector de la electricidad para transformación. Leyendo de forma horizontal este sector, de los 689PJ de E.PRI y 1,500PJ de derivados, tuvo una producción bruta de 966PJ, por lo que necesito 1,223PJ como consumo propio.

Tabla 10 Distribución de la oferta bruta de energía, 2008

– petajoules –

	No Renovable	Renovable	Energía primaria	Derivados de la no renovable	Electricidad	Energía secundaria	Total
Oferta interna bruta	6,540.98	665.08	7,206.06	1,247.79	-27.75	1,220.04	8,426.10
Diferencia estadística y pérdidas	-65.92	0.00	-66.04	3.13	-149.07	-145.94	-211.99
Consumo de energía por parte de las no renovables	-882.42	0.00	-882.42	-414.30	-43.56	-457.86	-1,340.28
Consumo propio del sector	-208.35	0.00	-208.35	-583.26	-43.56	-626.81	-835.16
Transferencias interproductos	-480.10	0.00	-480.10	480.10	0.00	480.10	0.00
Recirculaciones	-193.98	0.00	-193.98	-311.14	0.00	-311.14	-505.12
Total transformación	-5,365.90	-343.87	-5,709.77	2,999.89	965.86	3,965.74	-1,744.03
Suma derivados del petróleo	-5,021.25	0.00	-5,021.25	4,500.07	0.00	4,500.07	-521.19
Coquizadoras	-61.72	0.00	-61.72	47.34	0.00	47.34	-14.38
Refinerías y despuntadoras	-3,153.17	0.00	-3,153.17	2,669.42	0.00	2,669.42	-483.75
Plantas de gas y fraccionadoras	-1,806.36	0.00	-1,806.36	1,783.31	0.00	1,783.31	-23.06
Suma electricidad	-344.65	-343.87	-688.53	-1,500.18	965.86	-534.33	-1,222.85
Centrales eléctricas públicas	-343.52	-300.81	-644.33	-775.32	575.51	-199.81	-844.13
Centrales eléctricas PIE	0.00	0.00	0.00	-535.77	273.63	-262.15	-262.15
Centrales eléctricas de autogeneración	-1.13	-43.07	-44.20	-189.09	116.72	-72.37	-116.57
Consumo final total	226.74	321.21	547.95	3,836.50	745.48	4,581.98	5,129.93

Fuente: elaboración propia con base en el BNE, 2008

B. Condición de conservación de energía

1. Identidad de conservación

La MFE mexicana debe de respetar la “condición de conservación de energía”, recordemos que la energía primaria consumida debe de ser igual a la energía secundaria más las pérdidas de la conversión energética. La ecuación 4.1 describe a la energía primaria, la OIBE, las pérdidas y la diferencia estadística como los componentes de la energía secundaria

$$CES = E.PRIM + OIBE + P + DE \quad (4.1)$$

Donde:

CES es consumo de energía secundaria

E.PRIM es energía primaria destinada a transformación

OIBE es la Oferta interna bruta de energía

P son las pérdidas

DE es la diferencia estadística

Para comprender la ecuación 4.1 hay que tener presente que la Tabla 11 se puede leer de dos maneras, por el lado de origen la oferta interna bruta total de energía fue de 8,214PJ (OIBE (8,426PJ) más diferencia estadística (-33PJ) y pérdidas (-179PJ)). Del lado del destino, la energía primaria y la secundaria, si se cumple la condición de conservación de energía, han de ser iguales, sin embargo, el consumo de energía primaria fue de 7,140PJ y el consumo de energía secundaria fue de 8,284PJ. La suma ha de ser la misma al momento de incluir la energía de importación.

La conservación de energía se observa en diferentes etapas: la suma de energía primaria registrada en el origen es la misma que la registrada en el destino. La Tabla 11 muestra que el consumo de energía primaria (7,140PJ) se obtiene del lado del origen, como la suma de la OIBE (6,541PJ + 665PJ), la diferencia estadística (-36.1PJ), y las pérdidas (-29.9PJ); y por el lado del destino como la suma del consumo intersectorial de energía (882+5,021+345+344).

De igual forma la suma de energía secundaria registrada en el destino es la misma que la registrada en el origen más la energía primaria destinada a transformación. El consumo de la energía secundaria (8,284PJ) es la suma de la OIBE (1,248PJ + -28PJ), la diferencia estadística (3.1PJ), las pérdidas (-149PJ), más la energía primaria que se transforma en esta energía secundaria (números en rojo (5,021PJ + 345PJ + 344PJ + 1,500PJ)). Por lo que la MFE registra todos los movimientos de los flujos energéticos, que van de la OIBE y la transformación del consumo de energía a la demanda de energía intermedia y final, aquí se observa la condición de conservación de energía descrita en la ecuación 4.1.

Sin embargo, el consumo de energía primaria no se iguala con el consumo de energía secundaria (7,140PJ versus 8,284PJ) en un primer escenario. La identidad de la condición de conservación de energía se cumple (8,214PJ) cuando se suma la energía primaria (del lado del origen) (7,140PJ)

más la energía secundaria proveniente de importación (oferta interna bruta de energía secundaria) (1,220), la diferencia estadística (3.1PJ) y las pérdidas (-149PJ). Tal dato se corroboró al momento de sumar el total de energía consumida en el destino menos la energía primaria que se transforma en energía secundaria. Y también por el lado del destino al sumar el consumo total de energía entre los sectores energéticos y los sectores económicos (15,424PJ) menos la energía primaria que va a transformación (números en rojo (5,021pj + 345 + 344 + 1500)).

Tabla 11 Condiciones de conservación de energía en la MFE

—petajoules—

		Origen			Destino				
		Oferta interna bruta de energía	Diferencia estadística	Pérdidas (transp., dist. y almac)	No renovables	Renovables	Derivados de las no renovables	Sector eléctrico	Consumo y demanda final (sectores económicos y residencial)
Energía primaria	No renovable	6540.985	-36.062	-29.858	882.424	0.000	5021.247	344.653	226.741
	Renovable	665.080	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	343.875	321.217
Energía Secundaria	Derivados de la no renovable	1247.787	3.130	0.000	414.302	0.000	521.194	1500.182	3836.483
	Electricidad	-27.751	0.001	-149.072	43.555	0.000	0.000	1222.853	745.477
Suma		8426.101	-32.929	-178.930	1340.281	0.000	5542.441	3411.562	5129.918

Fuente: elaboración propia.

Notas: la Tabla representa una parte de la MFE (Tabla 12).

La columna de consumo final incluye la energía absorbida por los sectores económicos y la demanda final.

C. Matriz de flujo energético

1. Matriz de flujo energético completa

La Tabla anterior corresponde a una parte de la MFE, la Tabla 12 la muestra completa; conformada por 18 sectores: 4 energéticos y 14 económicos. Los primeros son las transacciones de consumo y transformación (ya presentadas en la Tabla anterior) y los segundos, las transacciones de demanda intermedia de energía (4,343PJ). De estos cuatro mil PJ, los sectores que consumieron más energía fueron la industria del transporte (2,302PJ), otras industrias (815PJ), la química (419PJ), la del hierro y el acero (193PJ) así como la del cemento y el vidrio (191PJ).

Los sectores que más consumieron E.PRI no renovable son los sectores energéticos, principalmente, otras industrias (221PJ) y la industria de cemento y vidrio (4.8PJ). Mientras que de renovables, son el sector eléctrico (343PJ), de forma dominante, y otras industrias (55.3PJ). Los derivados de la no renovable se consumieron más por el sector de transporte terrestre (2126PJ),

del sector energético, el eléctrico que lo utiliza para transformación (1,500PJ), la industria química (395.8PJ) y la industria del hierro y el acero (165.8PJ). Y de electricidad, de igual forma que las anteriores fueron los sectores energéticos los que más la consumieron (en especial el eléctrico con (1,223PJ) seguido por el comercial (50.9PJ), y el de cemento y vidrio (38.9PJ). Si consideramos sólo el consumo de energía por parte de los sectores económicos y sin valorar la demanda final, la energía que más se consume son los derivados de la no renovable (3,507PJ), después la electricidad (552PJ), las no renovables (227PJ), y por último la renovable (57PJ).

Tabla 12 Matriz de Flujo Energético (MFE), 2008
–petajoules–

Destino									
	Energéticos				Económicos				
	No renovable	Renovable	Derivados de la no renovable	Sector eléctrico	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
No renovable	882.42	0.00	5021.25	344.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Renovable	0.00	0.00	0.00	343.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
Derivados de la no renovable	414.30	0.00	521.19	1500.18	121.82	24.19	10.47	20.95	37.15
Electricidad	43.56	0.00	0.00	1222.85	29.78	20.63	1.70	6.51	9.03
Total	1340.28	0.00	5542.44	3411.56	151.60	44.82	12.18	27.46	46.42
Económicos									
	Química	Cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Otras industrias	Transporte de tierra	Transporte aéreo y marítimo	Comercial	Consumo de gobierno
No renovable	0.00	4.81	0.00	0.00	221.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Renovable	0.56	0.00	0.00	0.00	55.25	0.00	0.00	1.25	0.00
Derivados de la no renovable	395.84	147.70	165.84	3.19	207.75	2126.44	171.52	74.46	0.00
Electricidad	23.01	38.85	27.38	7.05	330.34	4.00	0.00	50.91	2.81
Total	419.42	191.36	193.22	10.24	815.27	2130.44	171.52	126.62	2.81

Fuente: elaboración propia con datos del BNE, 2008.

D. Resultados de la modelación

1. Matriz de coeficientes directos de energía

En la Tabla 13 se muestra el consumo de energía por unidad de producto, obtenido a través de la matriz de coeficientes directos de energía (Δ), que hace referencia a la intensidad energética directa de cada sector.

Por un lado los sectores económicos con mayor intensidad energética (petajoules que se necesitan para producir una unidad de producto), son el transporte; por tierra y, aéreo y marítimo (2.3 y 1.8PJ en derivados, respectivamente), seguido por la industria de cemento y vidrio (0.7PJ de derivados), y la industria química (0.5PJ en derivados). Mientras que por parte de los sectores energéticos (petajoule por unidad de petajoule) la intensidad más alta corresponde al sector de la electricidad al necesitar 0.17PJ de no renovable, 0.17PJ de renovable, 0.75PJ de derivados de la no renovable, y 0.6PJ de electricidad.

Por otro lado, la intensidad energética por tipo de tecnología se conforma de la siguiente manera: de la energía no renovable, el sector con la mayor intensidad es el de derivados de la no renovable, directamente es el único que registró un consumo de este tipo de energía. De la energía renovable, el sector de mayor intensidad es el de otras industrias con 0.016PJ por unidad de producto (mil millones de pesos), la industria de pulpa, papel y cartón necesitó 0.002PJ y la química 0.001PJ. Mientras que de electricidad, la intensidad más alta la registró la industria del cemento y vidrio con 0.17PJ y la minería de minerales metálicos y no metálicos con 0.155PJ.

Tabla 13 Matriz de coeficientes directos de energía
—petajoules/miles de millones de pesos—

	Energéticos				Económicos				
	No Renovable	Renovable	Derivados del petróleo	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
No Renovable	0.136	0.000	0.801	0.1713	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Renovable	0.000	0.000	0.000	0.1710	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Derivados del petróleo	0.064	0.000	0.083	0.746	0.200	0.181	0.006	0.088	0.267
Electricidad	0.007	0.000	0.000	0.608	0.049	0.155	0.001	0.027	0.065
Económicos									
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Otras industrias	Transporte por tierra	Transporte aéreo y marítimo	Comercial	Consumo de gobierno
No Renovable	0.000	0.022	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000
Renovable	0.001	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
Derivados del petróleo	0.461	0.661	0.367	0.003	0.061	2.307	1.786	0.009	0.000
Electricidad	0.027	0.174	0.061	0.007	0.097	0.004	0.000	0.006	0.004

Fuente: elaboración propia.

Notas: las filas de color gris corresponde a los sectores de energía primaria, y las filas en blanco son los sectores de energía secundaria, en el que las celdas de color gris oscuro corresponde al energético que registró la mayor intensidad energética.

2. Matriz de coeficientes totales de energía

La matriz de coeficientes totales de energía (Γ) reporta el consumo de energía total (directo e indirecto) de los sectores económicos, por unidad de producto. Como en la modelación no se considera la energía de importación y en nuestro caso la energía eléctrica no sólo proviene de la energía primaria sino también de los derivados de la no renovable, la condición de conservación en que la suma de intensidad de la energía primaria sea la misma que la suma de la intensidad de la energía secundaria, no se cumplirá con exactitud.

En la Tabla 14 se muestra el consumo de energía primaria y secundaria a través de los insumos utilizados. Por un lado, los sectores económicos con mayor costo energético (petajoules que se necesitan para satisfacer una unidad de producto que se destina a la demanda final) son: los sectores de transporte por tierra y, marítimo y aéreo; el primero necesitó 2.8PJ de derivados y 0.06 de electricidad, provenientes de los 2.6PJ de las no renovables y 0.01PJ de renovables. El segundo necesitó 2.2PJ de derivados y 0.05PJ de electricidad provenientes de 2.1PJ de no renovables y 0.009PJ de renovables; seguidos por la industria del cemento y vidrio con 1.4PJ de derivados, 0.54PJ de electricidad provenientes de 1.5PJ de no renovable y 0.1PJ de renovables, y la industria del hierro y el acero, con 0.9PJ de derivados y 0.3PJ de electricidad provenientes de los 0.9PJ de no renovable y 0.05PJ de renovable.

Mientras que por parte de los sectores energéticos (petajoule por unidad de petajoule) la intensidad más alta corresponde al sector de la electricidad que necesitó 2.8PJ de energía no renovable y 0.45PJ de renovables para producir un petajoule de electricidad, o que es lo mismo, 2.4 y 2.6PJ de derivados y electricidad, respectivamente, para producir una unidad de petajoule. Como se observa el sector con mayor intensidad es el sector eléctrico, y el producto energético con mayor intensidad son los derivados del petróleo, tanto para la producción de derivados como de electricidad.

Por otro lado la intensidad energética de los demás sectores se conforma de la siguiente manera: el sector agropecuario, necesita 0.5 y 0.03PJ de energía no renovable y renovable, respectivamente, que dan origen a los 0.5 y 0.2PJ de derivados y electricidad. El de minería de minerales metálicos y no metálicos necesita 0.7 y 0.07PJ de energía no renovable y renovable, respectivamente, que dan origen a los 0.7 y 0.4PJ de derivados y electricidad. El sector de construcción 0.2 y 0.01PJ de energía no renovable y renovable, respectivamente, para dar origen a

los 0.2 y 0.08PJ de derivados y electricidad. La industria de las bebidas y el tabaco necesitó 0.41 y 0.03PJ de no renovable y renovable, o que es lo mismo 0.39 y 0.17PJ de derivados y de electricidad, respectivamente. El sector agropecuario, necesitó 0.5 y 0.03PJ de energía no renovable y renovable, respectivamente, para dar origen a los 0.5 y 0.2PJ de derivados y electricidad.

Midiendo la condición de conservación de energía, se denota que el consumo de energía secundaria es mayor al de la energía primaria, como se mencionó esta diferencia puede provenir de la importación de energía contenida en los insumos producidos o asociarse a un pequeño sesgo. Si éste no existiera, es el sector del cemento y vidrio, seguido por la minería de metales metálicos y no metálicos y el transporte por tierra los que importan la mayor cantidad de energía a través de los insumos productivos utilizados.

Tabla 14 Matriz de coeficientes totales de energía
—petajoules/miles de millones de pesos—

	Energéticos				Económicos				
	No Renovable	Renovable	Derivados del petróleo	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
No Renovable	1.266	0.000	1.111	2.757	0.496	0.689	0.219	0.416	0.690
Renovable	0.004	1.000	0.004	0.447	0.032	0.074	0.014	0.033	0.044
Derivados del petróleo	0.112	0.000	1.194	2.415	0.489	0.650	0.213	0.392	0.688
Electricidad	0.023	0.000	0.021	2.613	0.180	0.429	0.075	0.172	0.240
Suma E. primaria	1.270	1.000	1.114	3.204	0.529	0.762	0.233	0.449	0.735
Suma E. secundaria	0.135	0.000	1.214	5.028	0.669	1.079	0.288	0.565	0.928
Diferencia	1.135	1.000	-0.100	-1.823	-0.140	-0.317	-0.055	-0.116	-0.193
Económicos									
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el	Fabricación de automóviles y camiones	Otras industrias	Transporte por tierra	Transporte aéreo y marítimo	Comercial	Consumo de gobierno
No Renovable	0.799	1.459	0.862	0.150	0.582	2.617	2.069	0.068	0.086
Renovable	0.021	0.094	0.046	0.010	0.070	0.012	0.009	0.006	0.005
Derivados del petróleo	0.836	1.427	0.872	0.146	0.474	2.808	2.220	0.065	0.085
Electricidad	0.114	0.546	0.267	0.052	0.308	0.066	0.050	0.030	0.027
Suma E. primaria	0.820	1.553	0.908	0.160	0.653	2.629	2.077	0.074	0.091
Suma E. secundaria	0.950	1.973	1.139	0.198	0.782	2.874	2.269	0.095	0.112
Diferencia	-0.130	-0.420	-0.230	-0.039	-0.129	-0.246	-0.192	-0.021	-0.021

Fuente: elaboración propia.

Notas: las filas de color gris corresponde a los sectores de energía primaria, y las filas en blanco son los sectores de energía secundaria, en el que las celdas de color gris oscuro corresponde al energético que registró la mayor intensidad energética.

Contrastando el análisis de los coeficientes directos con los totales de energía, en la Tabla 15 se observa que el sector de transporte de tierra directamente consume en mayor cantidad derivados de la no renovable, pero indirectamente domina la energía no renovable, y el consumo de electricidad y de renovable incrementa. Lo mismo sucede con los demás sectores. En lo que respecta a los sectores energéticos, ocurre que: la industria de las no renovables y de la electricidad, de forma directa, necesitan un nivel alto de energía pero de forma indirecta el consumo de energía aumenta más que el doble.

Contrastando el consumo de energía renovable de estos sectores se observa que de forma directa el consumo de este tipo de energía no ocurre en ninguno de estos sectores, más que en el sector eléctrico, y en la industria química, sin embargo, en la matriz de coeficientes totales se registra que todos los sectores consumen energía renovable de forma indirecta, en el caso de los sectores energéticos, ocurre que la industria eléctrica duplica su consumo de energía renovable, y los sectores de energía renovable y derivados de la no renovable registran un consumo similar de energía renovable. En los sectores económicos ocurre que la industria química duplica su consumo de energía renovable sin embargo, indirectamente la industria del cemento y vidrio domina en el consumo de las renovables seguido por la industria de minería de minerales metálicos y no metálicos, y la del hierro y el acero. Mientras que el consumo del sector de transporte es marginal.

Tabla 15 Coeficientes directos y totales de los sectores con mayor intensidad energética
—petajoules/miles de millones de pesos—

Sectores económicos	Directo				Totales			
	No renovable	Renovable	Derivados de la no renovable	Electricidad	No renovable	Renovable	Derivados de la no renovable	Electricidad
Transporte por tierra	0	0	2.3	0.004	2.6	0.01	2.8	0.07
Transporte marítimo y aéreo	0	0	1.8	0	2.1	0.01	2.2	0.05
Industria del cemento y vidrio	0.02	0	0.66	0.17	1.5	0.09	1.4	0.6
Hierro y acero	0	0	0.4	0.06	0.9	0.05	0.9	0.3
Industria química	0	0.001	0.5	0.03	0.8	0.02	0.8	0.01
Minería de minerales metálicos y no metálicos	0	0	0.2	0.2	0.7	0.07	0.7	0.4
Sectores energéticos								
Sectores energéticos	Directo				Totales			
	No renovable	Renovable	Derivados de la no renovable	Electricidad	No renovable	Renovable	Derivados de la no renovable	Electricidad
No renovable	0.14	0	0.0640	0.01	1.2664	0.0039	0.1123	0.0226
Renovable	0.00	0	0	0.00	0	1	0	0
Derivados de la no renovable	0.80	0	0.0831	0	1.1106	0.0036	1.1936	0.0206
Electricidad	0.1713	0.1710	0.7458	0.61	2.7573	0.4470	2.4147	2.6130

Fuente: elaboración propia.

Retomando, el BNE muestra los flujos de energía desde su origen hasta su destino final. Su análisis arrojó a la luz una matriz energética dominada por la producción de energía de fuente fósil, siendo marginal la participación de las renovables (7%), esto por el lado del origen. Del lado del destino se observó que se necesita un 15% de energía del consumo nacional de energía como consumo propio del sector energético. En lo que corresponde a los flujos energéticos de la oferta interna bruta de energía primaria el 80% se transformó en energía secundaria, el 7% se destinó a consumo final, y el 13% restante a consumo propio del sector de energía primaria no renovable.

Mientras que en la etapa de transformación, la energía secundaria obtenida representó el 70% de la energía primaria destinada a este proceso, lo que implica que de cierta forma se perdió un 30% de ésta. De este porcentaje, el 70% de pérdida ocurrió en el proceso de transformación de la electricidad, mientras que el otro 30% sucedió en el proceso de generación de los derivados de la no renovable. De forma desagregada, en el sector de los derivados de la no renovable de la energía primaria destinada a transformación el 10% se perdió, o se consumió para transformar el

90% en energía secundaria. Mientras que para la transformación de electricidad se necesitó tanto energía primaria como derivados de la no renovable, estos últimos dominaron con el 69% mientras que de energía primaria fue el 31%. De toda la energía destinada a transformación sólo el 44% se transformó en energía eléctrica y se considera que el restante de cierta forma se perdió o se utilizó en el mismo proceso de transformación.

Son los sectores del transporte (principalmente el de tierra), la industria del cemento y vidrio, la del hierro y el acero, la química y la de minería de minerales metálicos y no metálicos los que tiene un mayor consumo de energía tanto de forma directa como indirecta. Su consumo de energía renovable es marginal en comparación con los otros tipos de energía, en especial en el consumo de derivados de la no renovable, lo que comprueba la hipótesis de este trabajo, siendo el sector de transporte el que menos la consume.

Los resultados de ambas matrices para los sectores de energía eléctrica coinciden con los resultados de la MFE, en las primeras se muestra el alto costo energético de la producción de energía eléctrica y en la segunda la cantidad de energía renovable y de derivados de la no renovable que se necesitó para producir electricidad.

La matriz de coeficientes totales de energía mostró como los sectores económicos consumen energía primaria de forma indirecta a través de los insumos utilizados, pero sobre todo a través de la energía secundaria consumida, un ejemplo es la electricidad que necesita no sólo de derivados de las no renovables sino que también de renovables. Lo que hace la matriz de insumo-producto es mostrar la cantidad de renovables que utilizan los sectores económicos a través del consumo de electricidad.

Por lo que un cambio en el patrón de consumo energético en los sectores antes mencionados (buscando sustituir los derivados de la no renovable por energía renovable), y un cambio en el sector eléctrico basado en la eficiencia y en un patrón basado en las renovables es fundamental para cambiar el patrón de consumo de energía en toda la economía.

Conclusiones

Para analizar la estructura energética de nuestro país, haciendo una distinción entre energía renovable y no renovable, fue necesario primero comprender el concepto y la medición de la sustentabilidad energética. Su análisis no está basado en un patrón sino más bien debe verse como el camino para conseguir la preservación de las generaciones futuras. Ello implica no sólo considerar el estado de la matriz energética, hay que considerar también el concepto de los flujos energéticos y la eficiencia en que éstos son transformados. Es decir, la sustentabilidad energética no es sólo tener un patrón energético basado en las renovables sino que ha de ser más eficiente al necesitar menos energía por proceso productivo.

En México es necesario implementar un patrón energético basado en las renovables no sólo por su importancia en la generación de energía limpia sino por el estado de su producción petrolera, la cual ha venido decreciendo poniendo en riesgo las finanzas públicas. Actualmente, existe una Reforma Energética incongruente con los retos en sustentabilidad, impulsar la producción de petróleo y gas natural no permitirá cumplir con los objetivos de la LGCC y la LAERFTE. Llegar a una participación del 35% de las renovables en la generación de energía eléctrica es complicado, tan sólo en la matriz de energía primaria las renovables tienen una participación del 7%, de las cuales la leña es dominante. Esta situación es incongruente con el potencial que tiene el territorio para producir energía renovable, el gobierno debe de aprovechar la oportunidad de invertir en este tipo de energía y cambiar la dependencia de sus finanzas públicas.

Una forma de medir la sustentabilidad energética es a través de la matriz de insumo-producto, su construcción implicó generar la matriz de flujo energético, ésta fue uno de los mayores retos en la modelación ya que la SENER no brinda como tal esta matriz, su construcción se derivó del BNE. Pero como aquella debía distinguir entre la energía renovable y no renovable, entre energía primaria y secundaria, coincidir con los sectores económicos de la MIP y cumplir con la condición de conservación de energía, comprender la estructura del BNE fue de vital relevancia.

En el análisis del BNE se concluyó que la transformación de energía primaria a energía secundaria no es eficiente pues necesita un alto nivel de energía para producir energía, tan sólo en dicha transformación se perdió aproximadamente el 30% de energía. El caso más grave sucede en la generación de electricidad pues de la energía destinada a transformación sólo el 44% fue

transformado y el 66% se consumió. Ya en la matriz de flujo energético final se observó que del lado de los sectores económicos los que más consumen energía son el transporte de tierra dominando con el 53% de la demanda intermedia total de energía, seguido por otras industrias (19%), la industria química (10%), el hierro y el acero (4%) y la del cemento y vidrio (4%). En este tenor se podría decir que sólo el sector de transporte por tierra es el que tiene el mayor impacto energético.

Pero, tras la realización del modelo de insumo-producto de energía se obtuvieron los coeficientes directos, indirectos y totales de energía, que describen de forma más detallada el consumo de energía considerando la actividad económica intersectorial de cada uno. La matriz de coeficientes directos se extrae directamente de la matriz de coeficientes totales de energía, que mide la intensidad energética directa de cada sector por tipo de tecnología. Los resultados de esta matriz confirman que los sectores con mayor intensidad energética son el sector de transporte, no sólo el terrestre sino también el aéreo y marítimo, así como la industria de cemento y vidrio, y la química, afectados directamente por su alto consumo de derivados de la no renovable.

Esta desagregación del consumo de energía mostró que: los sectores económicos con mayor huella energética (indicador ambiental que nos dice la cantidad de energía que es usada y desperdiciada a través de la medición de los flujos energéticos) son la industria del transporte, tanto terrestre como aéreo y marítimo, la industria del cemento y el vidrio, y la del hierro y el acero. Si bien estos sectores dependen más de los derivados de la no renovable, por los insumos utilizados en el proceso productivo su consumo indirecto de energía depende en gran cuantía por la energía primaria no renovable. De los sectores de energía, el sector eléctrico presentó la mayor demanda de energía primaria y secundaria, y desperdició la mayor cantidad de energía durante el proceso de transformación, así fue el sector que presentó el mayor impacto de consumo de energía.

Nuestra medición de sustentabilidad ya no sólo considera el estado de la matriz energética, el costo energético intersectorial mide la eficiencia energética de la transformación de la energía primaria a secundaria y nos dice que sectores dependen indirectamente de las renovables, lo que permitió corroborar la hipótesis del trabajo: el alcance de la política energética del país sigue siendo limitada, si bien la industria del sector eléctrico es la que más utiliza renovables directamente, en el análisis se mostró que el consumo de este tipo de energía es marginal tanto

directa como indirectamente, a esto se le suma el hecho de que en el proceso de la transformación de la electricidad hay una pérdida importante de energía, por lo que no es suficiente sólo impulsar a las renovables en un sector, sino que también se ha de impulsar en los sectores con el mayor costo energético. Como la industria del transporte, que al no depender tanto de la electricidad su consumo de energía no renovable tiene un alto impacto en las emisiones.

En el proceso de la transición energética, las políticas implementadas han de cumplir con el concepto de sustentabilidad energética, buscando reducir la emisión de gases de efecto invernadero, eliminar la dependencia en los recursos fósiles y garantizar el acceso a la energía a toda la población. Un patrón energético basado únicamente en energía limpia, como lo es el gas natural, no es suficiente para reducir las emisiones ya que la demanda de energía global está incrementando, y además es un recurso no renovable. Como indican los organismos internacionales la nueva economía ha de estar basada en los recursos renovables y cambios en los patrones de consumo de energía.

Si bien la SENER tiene en mente estos objetivos, aún son muy generales y no tan específicos. Los documentos de política se enfocan en hacer la transición a través del gas natural y la energía nuclear, si bien se busca impulsar las renovables, la participación de la energía solar y la energía eólica que se espera es aún marginal, y el desarrollo de éstas depende de la inversión del sector privado. Es claro que la secretaria no se ha enfocado en impulsar a las renovables a través de la producción de la solar y eólica, y tampoco a través de fomentar este consumo en los sectores que tienen la mayor intensidad energética.

Hacer cambios en el sector energético es clave para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (debido a la cantidad de energía de fuente fósil que quema para transformar la energía primaria a secundaria). Como los sectores económicos consumen energía renovable indirectamente a través de la electricidad incentivar cambios en este sector e impulsarlo como dominante en la matriz energética es fundamental para llegar a la transición rápidamente.

En este trabajo se identificaron los sectores que registraron un mayor nivel de intensidad energética a lo largo de su cadena productiva. En éstos, se sugiere hacer cambios tecnológicos en los procesos productivos buscando reducir su demanda de energía a través de incentivos en la reutilización y reciclaje de sus insumos productivos. Se considera que estos cambios tienen un impacto importante en el consumo de energía global y no afectan a la economía, ya que la alta

intensidad de estos sectores está relacionada a un consumo mayor de energía y un nivel de actividad económica pequeña.

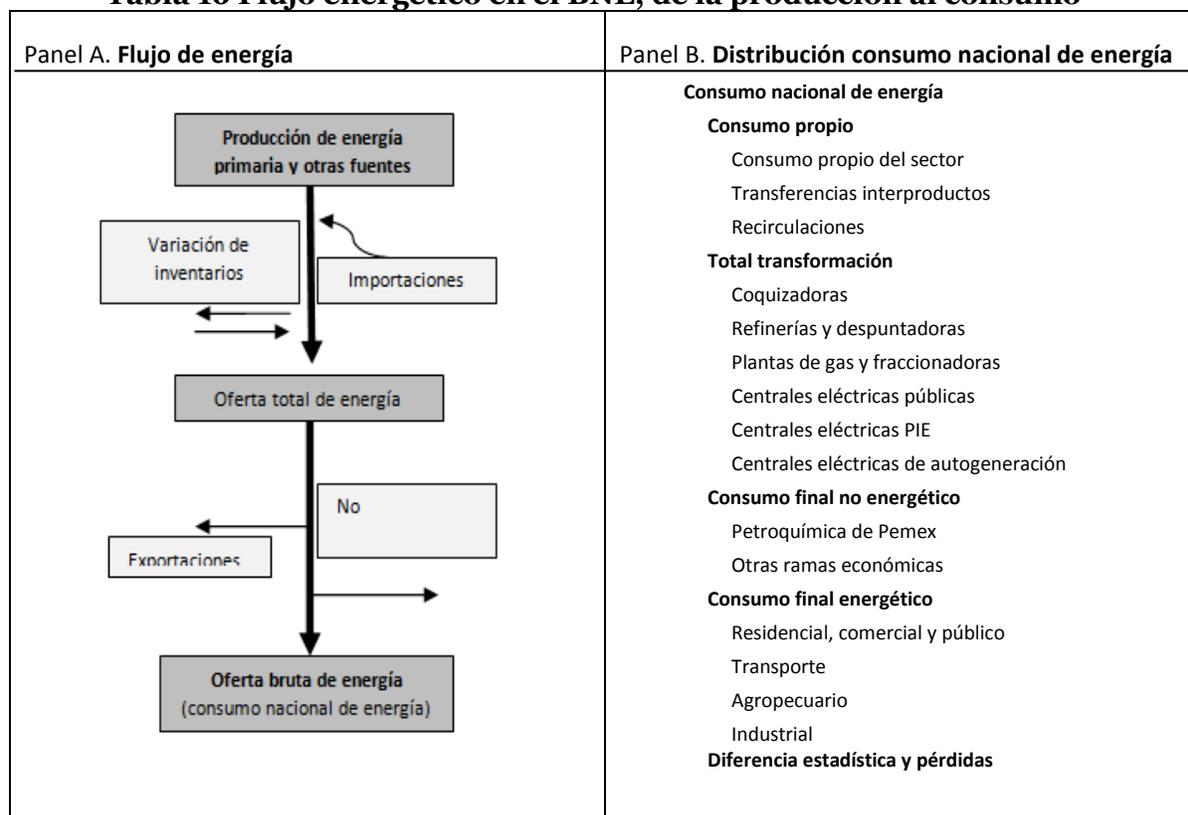
Por último, como la población urbana depende más de la energía a través de la industria y el sector de transporte, cambios en la política de planeación urbana y en el patrón de consumo de energía de su habitantes a través de incentivar el consumo de energía renovable mediante la electricidad generaría cambios importantes en nuestra matriz de coeficientes totales de energía.

Anexo A. Sobre la construcción de la matriz de flujo energético

Las dos fuentes principales de información estadística son el Balance Nacional de Energía (BNE) de la SENER, y la Matriz de Insumo-Producto (MIP) de INEGI. El año de análisis es 2008, la MIP última disponible es de ese año. A partir del BNE se realizó la matriz de flujos energéticos (MFE), por la cantidad de datos disponibles está compuesta por 18 sectores que se empalmaron con los 79 subsectores económicos de la MIP.

“El BNE presenta los flujos de energía a nivel nacional desde su origen hasta su destino final (...) se basa en un conjunto de relaciones de equilibrio que contabiliza la energía que se produce, la que se intercambia con el exterior, la que se transforma, la de consumo propio, la no aprovechada y la que se destina a diferentes sectores y agentes económicos” (BNE, 2012; 57). El Panel A de la Tabla 17 presenta el flujo de energía de la producción al consumo (oferta nacional de energía). El Panel B desglosa el consumo de energía: el del sector energético, la que se va a transformación, y la del consumidor final.

Tabla 16 Flujo energético en el BNE, de la producción al consumo



Fuente: elaboración propia con base en el BNE, 2008.

Para la construcción de la MFE primero se agregó la del BNE. Las columnas de éste presentan de forma desglosada los flujos de la energía primaria y secundaria, y las filas los procesos que generan estos flujos (BNE, 2012). En la Tabla 18 se muestra la agregación de las filas y las columnas en energía no renovable, renovable, derivados de la no renovable y electricidad. En el Panel A las columnas se agregan por tipo de tecnología (en la MFE estas columnas representarán las n filas). Los datos del Panel B se agregan por sector (las filas serán las m columnas de la MFE, donde $m > n$), el consumo final de energía se distribuye por los demás sectores económicos, y la demanda final de energía está conformada por el consumo del sector residencial y una proporción del sector público.

Tabla 17 Estructura del Balance Nacional de Energía

Panel A. Columnas (tipo de tecnología)	Panel B. Filas (procesos)
<p>Energía no renovable Carbón Petróleo crudo Condensados Gas natural Nucleoenergía</p> <p>Energía renovable Hidroenergía Geoenergía Energía solar Energía eólica Bagazo de caña Leña Biogas</p> <p>Derivados de la no renovable Coque de carbón Coque de petróleo Gas LP Gasolinas y naftas Querosenos Diesel Combustóleo Productos no energéticos Gas seco Otros autogeneración</p> <p>Electricidad Electricidad</p>	<p>Energía no renovable Consumo propio del sector Transferencias interproductos Recirculaciones</p> <p>Renovable</p> <p>Derivados de la no renovable Coquizadoras Refinerías y despuntadoras Plantas de gas y fraccionadoras Centrales eléctricas públicas</p> <p>Electricidad Centrales eléctricas públicas Centrales eléctricas PIE Centrales eléctricas de autogeneración</p> <p>Consumo final de energía* Consumo no energético Consumo energético Agropecuario Industria Transporte Comercial Público</p> <p>Demanda final de energía Público Residencial</p>

Fuente: elaboración propia con base en el BNE, 2008.

Nota: * El consumo final de energía es no energético y energético, éste último conformado por 23 sectores.

Por último, siguiendo la lógica de la MIP, el consumo final de energía se dividió entre consumo de los sectores intermedios y la demanda final de energía, la demanda final de energía está compuesta por el sector público y el residencial.

Después de realizar la MFE se agrega la MIP acorde a los sectores de la MFE, la Tabla 19 relaciona los sectores de cada matriz donde el sector de la energía no renovable se relaciona con la suma de los subsectores de extracción de petróleo y gas, y el de transporte por ductos, el de renovable no fue posible relacionarlo, el de derivados de la no renovable se relacionó con el sector de la fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón. El eléctrico se relacionó con el subsector 221, se sumó el de elaboración de cerveza, elaboración de refrescos con el de productos de tabaco para relacionarlo con el subsector 312.

La fabricación de pulpa, papel y cartón se relaciona con la industria del papel, se sumó la industria química con la fabricación de fertilizantes y productos de hule, así como los correspondientes al consumo no energético, que están inmersos en la industria química. La fabricación de cemento y de vidrio se encuentra en el subsector 327, la industria del hierro y del acero en el 331, la fabricación de automóviles y camiones en el 336. La industria de elaboración de azúcares no se pudo relacionar con algún subsector de la MIP, por lo que se agregó con otras industrias y eso se relacionó con otras industrias de de la MFE.

Tabla 18 Agregación de los subsectores de la MIP con los sectores de la MFE

Sectores de consumo final de energía (energético y no energético)	Sectores económicos (subsectores)
No renovable	Extracción de petróleo y gas (211) Transporte por ductos (486)
Renovable	n.d
Derivados de la no renovable	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (324)
Eléctrico	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (221)
Agropecuario	Agropecuario (11)
Minería de minerales metálicos y no metálicos	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas (212)
Construcción	Construcción (23)
Elaboración de cerveza	Industria de las bebidas y del tabaco (312)
Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, purificación y embotellado de agua	
Elaboración de productos de tabaco	
Fabricación de pulpa, papel y cartón	Industria del papel (322)
Industria Química	Industria química (325)
Fabricación de fertilizantes	
Fabricación de productos de hule	
Pemex Petroquímica	
Petroquímica de Pemex*	
Otras ramas económicas*	
Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos (327)
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	
Industria básica del hierro y el acero	Industrias metálicas básicas (331)
Fabricación de automóviles y camiones	Fabricación de equipo de transporte (336)
Otras ramas y elaboración de azúcares	Otras industrias (222, 311, 313-321, 323, 326, 332-335, 337 y 339)
Autotransporte	Suma transporte de tierra (484, 485, 487, 482)
Ferroviario	
Eléctrico	
Aéreo	Suma del transporte aéreo y marítimo (481 y 483)
Marítimo	
Comercial	Suma servicios y comercio (213, 43-46, 488-493, y 511-814)
Público	Suma consumo de gobierno (78 y 79)
Público	Demanda final
Residencial	

Fuente: elaboración propia.

Notas: *Corresponde a consumo de energía no energética

Anexo B. Construcción de las matrices

Tabla 19 Matriz Simétrica doméstica de insumo-producto (industria por industria) por subsector de actividad, 2008

-millones de pesos-

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	40.29	-	409,541.94	120.97	95.47	11.24	356.94	47.27	41.34
Renovables	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	6,378.35	-	9,094.52	55,339.98	11,082.22	6,623.30	30,204.08	3,178.60	2,745.66
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	2,347.12	-	654.42	3,311.94	5,819.55	5,796.60	7,481.11	4,203.99	5,477.50
Agropecuario	0.10	-	0.34	0.33	50,481.13	0.09	362.55	6,435.28	22.00
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	74.86	-	278.66	3,559.69	902.86	3,953.26	19,917.26	0.66	209.67
Construcción	6.86	-	1.69	1,063.86	1,150.94	122.00	120,514.59	13.02	40.56
Industria de las bebidas y del tabaco	12.46	-	12.70	58.60	536.92	13.39	207.39	1,820.18	17.62
Fabricación de pulpa, papel y cartón	3.76	-	116.03	253.08	1,332.92	18.50	1,440.91	932.81	23,825.49
Industria química	24,761.40	-	3,929.15	60,313.77	17,022.31	1,330.85	18,753.59	1,654.88	3,859.07
Industria del cemento y vidrio	274.12	-	114.35	40.76	1,170.63	128.39	100,788.83	11,170.68	5.37
Industria básica del hierro y el acero	9.19	-	11.99	32.50	1,298.38	164.75	87,579.36	15.38	36.50
Fabricación de automóviles y camiones	41.35	-	33.56	272.37	395.26	349.17	2,539.67	489.87	115.39
Suma de otras industrias	1,016.27	-	8,585.38	1,413.20	49,283.66	1,090.82	97,974.91	46,566.39	6,320.29
Suma transporte tierra	1,664.45	-	6,554.48	6,057.98	3,895.71	632.85	15,998.03	1,961.89	1,702.39
Suma transporte, aéreo y marítimo	72.21	-	299.71	698.75	175.81	250.88	677.98	315.91	156.90
Suma servicios y comercio	28,020.14	-	26,287.70	36,886.62	37,812.92	16,650.76	223,261.46	30,289.32	22,956.63
Suma de gobierno	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Económicos									
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	115,333.89	44.66	140.82	339.77	698.55	131.36	17.86	317.42	36.08
Renovables	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	10,119.92	11,778.31	3,296.19	982.30	25,005.11	187,984.74	33,070.81	52,970.47	17,044.83
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	7,554.26	9,012.56	19,905.35	6,159.91	37,852.50	4,078.81	176.29	128,244.64	13,646.92
Agropecuario	1,708.73	0.33	0.37	8.07	275,465.08	0.58	0.13	45.72	0.10
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	5,345.33	14,768.85	48,660.63	100.38	845.51	76.16	1.45	768.44	0.03
Construcción	29.15	13.43	180.58	84.48	2,307.62	1,219.02	5.15	15,254.22	2,198.29
Industria de las bebidas y del tabaco	179.28	21.67	55.82	74.59	684.17	53.12	9.18	6,091.92	125.62
Fabricación de pulpa, papel y cartón	4,459.83	1,866.56	71.29	1,566.14	22,222.86	316.78	18.80	25,963.11	5,651.72
Industria química	154,049.92	8,604.96	9,171.42	4,394.30	71,872.98	3,457.23	71.42	51,110.65	15,684.37
Industria del cemento y vidrio	695.44	13,777.94	90.97	2,709.87	7,513.97	59.07	3.02	7,777.51	20.41
Industria básica del hierro y el acero	374.79	1,323.66	75,534.65	34,132.97	93,212.03	15.36	6.51	9,817.54	129.28
Fabricación de automóviles y camiones	213.47	239.43	366.85	63,267.99	1,841.85	13,096.00	1,887.61	13,799.54	396.43
Suma de otras industrias	10,760.52	1,952.03	4,425.75	40,722.02	233,703.49	4,352.28	390.38	147,229.51	10,346.09
Suma transporte tierra	13,264.93	2,072.77	5,698.30	13,739.56	29,015.11	7,905.06	1,624.07	20,314.66	4,768.60
Suma transporte, aéreo y marítimo	780.74	317.39	1,165.96	3,195.79	12,590.31	1,341.02	663.83	9,129.23	2,276.50
Suma servicios y comercio	112,048.02	31,957.88	58,046.77	120,056.49	378,762.31	121,619.97	29,021.67	1,088,256.55	120,763.45
Suma de gobierno	-	-	-	-	-	-	-	254.04	-

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 20 Matriz Simétrica doméstica de insumo-producto (industria por industria) por subsector de actividad, 2008
-millones de pesos-

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Demanda final	Demanda intermedia	Utilización total de la producción interna a precios básicos
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	449,607.71	527,315.85	976,923.56
Renovables	-	-	-
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	307,741.45	466,899.38	774,640.82
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	144,856.70	261,723.47	406,580.17
Agropecuario	275,661.81	334,530.92	610,192.72
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	34,021.91	99,463.69	133,485.59
Construcción	1,736,932.52	144,205.46	1,881,137.98
Industria de las bebidas y del tabaco	226,805.80	9,974.62	236,780.42
Fabricación de pulpa, papel y cartón	48,904.09	90,060.58	138,964.67
Industria química	407,856.57	450,042.27	857,898.84
Industria del cemento y vidrio	77,253.98	146,341.31	223,595.29
Industria básica del hierro y el acero	148,298.59	303,694.83	451,993.42
Fabricación de automóviles y camiones	868,948.43	99,345.80	968,294.23
Suma de otras industrias	2,748,680.81	666,133.00	3,414,813.81
Suma transporte tierra	784,883.69	136,870.83	921,754.53
Suma transporte, aéreo y marítimo	61,942.37	34,108.92	96,051.29
Suma servicios y comercio	5,448,612.49	2,482,698.65	7,931,311.14
Suma de gobierno	657,893.80	254.04	658,147.85
Total de usos de origen nacional	14,428,902.71	6,253,663.61	20,682,566.32

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 21 Simétrica doméstica de insumo-producto (industria por industria) por subsector de actividad, 2008
-miles de millones de pesos-

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.0403	0.0000	409.5419	0.1210	0.0955	0.0112	0.3569	0.0473	0.0413
Renovables	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	6.3784	0.0000	9.0945	55.3400	11.0822	6.6233	30.2041	3.1786	2.7457
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	2.3471	0.0000	0.6544	3.3119	5.8196	5.7966	7.4811	4.2040	5.4775
Agropecuario	0.0001	0.0000	0.0003	0.0003	50.4811	0.0001	0.3625	6.4353	0.0220
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0749	0.0000	0.2787	3.5597	0.9029	3.9533	19.9173	0.0007	0.2097
Construcción	0.0069	0.0000	0.0017	1.0639	1.1509	0.1220	120.5146	0.0130	0.0406
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0125	0.0000	0.0127	0.0586	0.5369	0.0134	0.2074	1.8202	0.0176
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0038	0.0000	0.1160	0.2531	1.3329	0.0185	1.4409	0.9328	23.8255
Industria química	24.7614	0.0000	3.9291	60.3138	17.0223	1.3309	18.7536	1.6549	3.8591
Industria del cemento y vidrio	0.2741	0.0000	0.1143	0.0408	1.1706	0.1284	100.7888	11.1707	0.0054
Industria básica del hierro y el acero	0.0092	0.0000	0.0120	0.0325	1.2984	0.1647	87.5794	0.0154	0.0365
Fabricación de automóviles y camiones	0.0413	0.0000	0.0336	0.2724	0.3953	0.3492	2.5397	0.4899	0.1154
Suma de otras industrias	1.0163	0.0000	8.5854	1.4132	49.2837	1.0908	97.9749	46.5664	6.3203
Suma transporte tierra	1.6645	0.0000	6.5545	6.0580	3.8957	0.6329	15.9980	1.9619	1.7024
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0722	0.0000	0.2997	0.6988	0.1758	0.2509	0.6780	0.3159	0.1569
Suma servicios y comercio	28.0201	0.0000	26.2877	36.8866	37.8129	16.6508	223.2615	30.2893	22.9566
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	115.3339	0.0447	0.1408	0.3398	0.6986	0.1314	0.0179	0.3174	0.0361
Renovables	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	10.1199	11.7783	3.2962	0.9823	25.0051	187.9847	33.0708	52.9705	17.0448
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	7.5543	9.0126	19.9053	6.1599	37.8525	4.0788	0.1763	128.2446	13.6469
Agropecuario	1.7087	0.0003	0.0004	0.0081	275.4651	0.0006	0.0001	0.0457	0.0001
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	5.3453	14.7689	48.6606	0.1004	0.8455	0.0762	0.0015	0.7684	0.0000
Construcción	0.0292	0.0134	0.1806	0.0845	2.3076	1.2190	0.0051	15.2542	2.1983
Industria de las bebidas y del tabaco	0.1793	0.0217	0.0558	0.0746	0.6842	0.0531	0.0092	6.0919	0.1256
Fabricación de pulpa, papel y cartón	4.4598	1.8666	0.0713	1.5661	22.2229	0.3168	0.0188	25.9631	5.6517
Industria química	154.0499	8.6050	9.1714	4.3943	71.8730	3.4572	0.0714	51.1106	15.6844
Industria del cemento y vidrio	0.6954	13.7779	0.0910	2.7099	7.5140	0.0591	0.0030	7.7775	0.0204
Industria básica del hierro y el acero	0.3748	1.3237	75.5346	34.1330	93.2120	0.0154	0.0065	9.8175	0.1293
Fabricación de automóviles y camiones	0.2135	0.2394	0.3668	63.2680	1.8419	13.0960	1.8876	13.7995	0.3964
Suma de otras industrias	10.7605	1.9520	4.4257	40.7220	233.7035	4.3523	0.3904	147.2295	10.3461
Suma transporte tierra	13.2649	2.0728	5.6983	13.7396	29.0151	7.9051	1.6241	20.3147	4.7686
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.7807	0.3174	1.1660	3.1958	12.5903	1.3410	0.6638	9.1292	2.2765
Suma servicios y comercio	112.0480	31.9579	58.0468	120.0565	378.7623	121.6200	29.0217	1.088.2566	120.7635
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2540	0.0000

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 22 Matriz Simétrica doméstica de insumo-producto (industria por industria) por subsector de actividad, 2008

-miles de millones de pesos-

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Demanda final	Demanda intermedia	Utilización total de la producción interna a precios básicos
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	449.6077	527.3159	976.9236
Renovables	0.0000	0.0000	0.0000
Fabricación de productos derivados del petróleo	307.7414	466.8994	774.6408
Generación, transmisión y distribución de	144.8567	261.7235	406.5802
Agropecuario	275.6618	334.5309	610.1927
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	34.0219	99.4637	133.4856
Construcción	1,736.9325	144.2055	1,881.1380
Industria de las bebidas y del tabaco	226.8058	9.9746	236.7804
Fabricación de pulpa, papel y cartón	48.9041	90.0606	138.9647
Industria química	407.8566	450.0423	857.8988
Industria del cemento y vidrio	77.2540	146.3413	223.5953
Industria básica del hierro y el acero	148.2986	303.6948	451.9934
Fabricación de automóviles y camiones	868.9484	99.3458	968.2942
Suma de otras industrias	2,748.6808	666.1330	3,414.8138
Suma transporte tierra	784.8837	136.8708	921.7545
Suma transporte, aéreo y marítimo	61.9424	34.1089	96.0513
Suma servicios y comercio	5,448.6125	2,482.6987	7,931.3111
Suma de gobierno	657.8938	0.2540	658.1478
Total de usos de origen nacional	14,428.9027	6,253.6636	20,682.5663

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 23. Matriz híbrida Z*
—petajoules/miles de millones de pesos—

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	882.423931	0	5021.246798	344.653078	0	0	0	0	0
Renovables	0	0	0	343.874797	0	0	0	0	0.24
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	414.301612	0	521.194053	1500.181852	121.815634	24.193777	10.474101	20.952399	37.15044
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	43.555443	0	0	1222.852648	29.779743	20.626791	1.704992	6.506967	9.026005
Agropecuario	0.0001	0	0.00034	0.000333	50.481133	0.000086	0.362548	6.435278	0.021996
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.074857	0	0.278661	3.559687	0.90286	3.953259	19.917257	0.000656	0.209667
Construcción	0.006863	0	0.001687	1.063859	1.150943	0.121996	120.514594	0.013023	0.040555
Industria de las bebidas y del tabaco	0.012455	0	0.012696	0.058596	0.536915	0.013393	0.207389	1.820182	0.017622
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.00376	0	0.116029	0.253082	1.332917	0.018503	1.440913	0.93281	23.825486
Industria química	24.761396	0	3.929148	60.313772	17.022313	1.330851	18.753591	1.654876	3.859072
Industria del cemento y vidrio	0.274116	0	0.114347	0.040761	1.170632	0.128394	100.788828	11.170675	0.005374
Industria básica del hierro y el acero	0.009193	0	0.011993	0.032495	1.29838	0.164748	87.579356	0.01538	0.036497
Fabricación de automóviles y camiones	0.041348	0	0.033563	0.27237	0.395259	0.349168	2.53967	0.48987	0.115388
Suma de otras industrias	1.016274	0	8.585381	1.413203	49.283664	1.090817	97.974912	46.566385	6.320291
Suma transporte tierra	1.66445	0	6.554475	6.057982	3.895713	0.63285	15.998031	1.961889	1.702389
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.072212	0	0.299709	0.69875	0.17581	0.250879	0.677982	0.315914	0.156899
Suma servicios y comercio	28.020143	0	26.287704	36.886619	37.812917	16.650762	223.261456	30.289315	22.956627
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0	4.809323	0	0	221.931628	0	0	0	0
Renovables	0.56	0	0	0	55.25199	0	0	1.254493	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	395.844155	147.702606	165.841089	3.186821	207.747108	2126.440236	171.515854	74.457253	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	23.014375	38.85189	27.376288	7.054218	330.336567	4.000233	0	50.908929	2.81453313
Agropecuario	1.708734	0.000325	0.000369	0.008071	275.465075	0.000582	0.000126	0.045724	0.000096
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	5.345329	14.768851	48.660633	0.10038	0.845514	0.076157	0.001454	0.768439	0.000025
Construcción	0.029154	0.013426	0.18058	0.084483	2.307624	1.219018	0.005148	15.254223	2.198288
Industria de las bebidas y del tabaco	0.179279	0.021667	0.055824	0.074588	0.684169	0.053123	0.009179	6.09192	0.125619
Fabricación de pulpa, papel y cartón	4.459828	1.866558	0.07129	1.566137	22.222859	0.316781	0.018798	25.96311	5.651722
Industria química	154.04992	8.604964	9.171417	4.3943	71.872981	3.457228	0.071424	51.110647	15.684365
Industria del cemento y vidrio	0.695439	13.777938	0.090971	2.709866	7.513966	0.059074	0.003016	7.777505	0.020407
Industria básica del hierro y el acero	0.374793	1.323662	75.534647	34.132971	93.212034	0.015358	0.006505	9.817539	0.12928
Fabricación de automóviles y camiones	0.213471	0.239425	0.366845	63.267994	1.841853	13.095998	1.887608	13.799536	0.39643
Suma de otras industrias	10.76052	1.952032	4.425748	40.722019	233.703493	4.352278	0.390381	147.229512	10.346086
Suma transporte tierra	13.264932	2.072768	5.698301	13.739557	29.015114	7.905062	1.624065	20.314657	4.768599
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.780742	0.317392	1.165956	3.195785	12.59031	1.341015	0.663825	9.129234	2.276501
Suma servicios y comercio	112.048016	31.957883	58.046774	120.056487	378.762307	121.619968	29.021671	1088.25655	120.763452
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0.254044	0

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 24 Composición de la demanda final y producto/consumo total (f* y x*)
 —petajoules/miles de millones de pesos—

Subsectores	F*Hibrida	X* Hibrida
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.0000	6475.0648
Renovables	263.9110	665.0922
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	329.1613	6272.1603
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	193.0612	2011.4708
Agropecuaria	275.6618	610.1927
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	34.0219	133.4856
Construcción	1736.9325	1881.1380
Industria de las bebidas y del tabaco	226.8058	236.7804
Fabricación de pulpa, papel y cartón	48.9041	138.9647
Industria química	407.8566	857.8988
Industria del cemento y vidrio	77.2540	223.5953
Industria básica del hierro y el acero	148.2986	451.9934
Fabricación de automóviles y camiones	868.9484	968.2942
Suma de otras industrias	2748.6808	3414.8138
Suma transporte tierra	784.8837	921.7545
Suma transporte, aéreo y marítimo	61.9424	96.0513
Suma servicios y comercio	5448.6125	7931.3111
Suma de gobierno	657.8938	658.1478

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 25 Construcción de la matriz diagonal (X*)
—petajoules/miles de millones de pesos—

		Energéticos				Económicos				
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón	
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	6475.0648	0	0	0	0	0	0	0	0	
Renovables	0	665.0922	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	6272.1603	0	0	0	0	0	0	
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	2011.4708	0	0	0	0	0	
Agropecuario	0	0	0	0	610.1927	0	0	0	0	
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	133.4856	0	0	0	
Construcción	0	0	0	0	0	0	1881.1380	0	0	
Industria de las bebidas y del tabaco	0	0	0	0	0	0	0	236.7804	0	
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	138.9647	
Industria química	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Industria del cemento y vidrio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Industria básica del hierro y el acero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Suma de otras industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Económicos								
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno	
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Agropecuario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Construcción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Industria de las bebidas y del tabaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Industria química	857.8988	0	0	0	0	0	0	0	0	
Industria del cemento y vidrio	0	223.5953	0	0	0	0	0	0	0	
Industria básica del hierro y el acero	0	0	451.9934	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	968.2942	0	0	0	0	0	
Suma de otras industrias	0	0	0	0	3414.8138	0	0	0	0	
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	921.7545	0	0	0	
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	96.0513	0	0	
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	7931.3111	0	
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	658.1478	

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 26 Construcción de la matriz diagonal (X*)⁽⁻¹⁾

—petajoules/miles de millones de pesos—

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables	0	0.0015	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	0.0002	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	0.0005	0	0	0	0	0
Agropecuario	0	0	0	0	0.0016	0	0	0	0
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	0.0075	0	0	0
Construcción	0	0	0	0	0	0	0.0005	0	0
Industria de las bebidas y el tabaco	0	0	0	0	0	0	0	0.0042	0
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0072
Industria química	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria del cemento y vidrio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria básica del hierro y el acero	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de otras industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agropecuario	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Construcción	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria de las bebidas y el tabaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria química	0.0012	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria del cemento y vidrio	0	0.0045	0	0	0	0	0	0	0
Industria básica del hierro y el acero	0	0	0.0022	0	0	0	0	0	0
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	0.0010	0	0	0	0	0
Suma de otras industrias	0	0	0	0	0.0003	0	0	0	0
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	0.0011	0	0	0
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	0.0001	0
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 27 Matriz G
—petajoules—

		Energéticos				Económicos				
Subsector (ventas)	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón	
Subsector (compras)										
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	6475.064758	0	0	0	0	0	0	0	0	
Renovables	0	665.09223	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	6272.160307	0	0	0	0	0	0	
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	2011.470845	0	0	0	0	0	
		Económicos								
Subsector (ventas)	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno	
Subsector (compras)										
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 28 Construcción de la matriz A*
—petajoules/miles de millones de pesos—

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.1363	0.0000	0.8006	0.1713	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Renovables	0.0000	0.0000	0.0000	0.1710	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.0640	0.0000	0.0831	0.7458	0.1996	0.1812	0.0056	0.0885	0.2673
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0.0067	0.0000	0.0000	0.6079	0.0488	0.1545	0.0009	0.0275	0.0650
Agropecuario	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0827	0.0000	0.0002	0.0272	0.0002
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0015	0.0296	0.0106	0.0000	0.0015
Construcción	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0019	0.0009	0.0641	0.0001	0.0003
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0001	0.0001	0.0077	0.0001
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0022	0.0001	0.0008	0.0039	0.1714
Industria química	0.0038	0.0000	0.0006	0.0300	0.0279	0.0100	0.0100	0.0070	0.0278
Industria del cemento y vidrio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0010	0.0536	0.0472	0.0000
Industria básica del hierro y el acero	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0012	0.0466	0.0001	0.0003
Fabricación de automóviles y camiones	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0026	0.0014	0.0021	0.0008
Suma de otras industrias	0.0002	0.0000	0.0014	0.0007	0.0808	0.0082	0.0521	0.1967	0.0455
Suma transporte tierra	0.0003	0.0000	0.0010	0.0030	0.0064	0.0047	0.0085	0.0083	0.0123
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003	0.0019	0.0004	0.0013	0.0011
Suma servicios y comercio	0.0043	0.0000	0.0042	0.0183	0.0620	0.1247	0.1187	0.1279	0.1652
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.0000	0.0215	0.0000	0.0000	0.0650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Renovables	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0162	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.4614	0.6606	0.3669	0.0033	0.0608	2.3069	1.7857	0.0094	0.0000
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0.0268	0.1738	0.0606	0.0073	0.0967	0.0043	0.0000	0.0064	0.0043
Agropecuario	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0807	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0062	0.0661	0.1077	0.0001	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
Construcción	0.0000	0.0001	0.0004	0.0001	0.0007	0.0013	0.0001	0.0019	0.0033
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0008	0.0002
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0052	0.0083	0.0002	0.0016	0.0065	0.0003	0.0002	0.0033	0.0086
Industria química	0.1796	0.0385	0.0203	0.0045	0.0210	0.0038	0.0007	0.0064	0.0238
Industria del cemento y vidrio	0.0008	0.0616	0.0002	0.0028	0.0022	0.0001	0.0000	0.0010	0.0000
Industria básica del hierro y el acero	0.0004	0.0059	0.1671	0.0353	0.0273	0.0000	0.0001	0.0012	0.0002
Fabricación de automóviles y camiones	0.0002	0.0011	0.0008	0.0653	0.0005	0.0142	0.0197	0.0017	0.0006
Suma de otras industrias	0.0125	0.0087	0.0098	0.0421	0.0684	0.0047	0.0041	0.0186	0.0157
Suma transporte tierra	0.0155	0.0093	0.0126	0.0142	0.0085	0.0086	0.0169	0.0026	0.0072
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0009	0.0014	0.0026	0.0033	0.0037	0.0015	0.0069	0.0012	0.0035
Suma servicios y comercio	0.1306	0.1429	0.1284	0.1240	0.1109	0.1319	0.3021	0.1372	0.1835
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 29 Matriz identidad (I)

Subsector (compras)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Agropecuario	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Construcción	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Industria de las bebidas y el tabaco	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Industria química	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria del cemento y vidrio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria básica del hierro y el acero	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de otras industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subsector (compras)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agropecuario	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Construcción	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria de las bebidas y el tabaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria química	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria del cemento y vidrio	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Industria básica del hierro y el acero	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fabricación de automóviles y camiones	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Suma de otras industrias	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Suma transporte tierra	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Suma transporte, aéreo y marítimo	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Suma servicios y comercio	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Suma de gobierno	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30 Construcción de la matriz (I-A*)

—petajoules/miles de millones de pesos—

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.8637	0.0000	-0.8006	-0.1713	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Renovables	0.0000	1.0000	0.0000	-0.1710	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0017
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	-0.0640	0.0000	0.9169	-0.7458	-0.1996	-0.1812	-0.0056	-0.0885	-0.2673
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	-0.0067	0.0000	0.0000	0.3921	-0.0488	-0.1545	-0.0009	-0.0275	-0.0650
Agropecuario	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9173	0.0000	-0.0002	-0.0272	-0.0002
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0018	-0.0015	0.9704	-0.0106	0.0000	-0.0015
Construcción	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0005	-0.0019	-0.0009	0.9359	-0.0001	-0.0003
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0009	-0.0001	-0.0001	0.9923	-0.0001
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0022	-0.0001	-0.0008	-0.0039	0.8286
Industria química	-0.0038	0.0000	-0.0006	-0.0300	-0.0279	-0.0100	-0.0100	-0.0070	-0.0278
Industria del cemento y vidrio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0019	-0.0010	-0.0536	-0.0472	0.0000
Industria básica del hierro y el acero	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0021	-0.0012	-0.0466	-0.0001	-0.0003
Fabricación de automóviles y camiones	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0006	-0.0026	-0.0014	-0.0021	-0.0008
Suma de otras industrias	-0.0002	0.0000	-0.0014	-0.0007	-0.0808	-0.0082	-0.0521	-0.1967	-0.0455
Suma transporte tierra	-0.0003	0.0000	-0.0010	-0.0030	-0.0064	-0.0047	-0.0085	-0.0083	-0.0123
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0003	-0.0003	-0.0019	-0.0004	-0.0013	-0.0011
Suma servicios y comercio	-0.0043	0.0000	-0.0042	-0.0183	-0.0620	-0.1247	-0.1187	-0.1279	-0.1652
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.0000	-0.0215	0.0000	0.0000	-0.0650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Renovables	-0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0162	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0000
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	-0.4614	-0.6606	-0.3669	-0.0033	-0.0608	-2.3069	-1.7857	-0.0094	0.0000
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	-0.0268	-0.1738	-0.0606	-0.0073	-0.0967	-0.0043	0.0000	-0.0064	-0.0043
Agropecuario	-0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0807	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	-0.0062	-0.0661	-0.1077	-0.0001	-0.0002	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000
Construcción	0.0000	-0.0001	-0.0004	-0.0001	-0.0007	-0.0013	-0.0001	-0.0019	-0.0033
Industria de las bebidas y del tabaco	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0008	-0.0002
Fabricación de pulpa, papel y cartón	-0.0052	-0.0083	-0.0002	-0.0016	-0.0065	-0.0003	-0.0002	-0.0033	-0.0086
Industria química	0.8204	-0.0385	-0.0203	-0.0045	-0.0210	-0.0038	-0.0007	-0.0064	-0.0238
Industria del cemento y vidrio	-0.0008	0.9384	-0.0002	-0.0028	-0.0022	-0.0001	0.0000	-0.0010	0.0000
Industria básica del hierro y el acero	-0.0004	-0.0059	0.8329	-0.0353	-0.0273	0.0000	-0.0001	-0.0012	-0.0002
Fabricación de automóviles y camiones	-0.0002	-0.0011	-0.0008	0.9347	-0.0005	-0.0142	-0.0197	-0.0017	-0.0006
Suma de otras industrias	-0.0125	-0.0087	-0.0098	-0.0421	0.9316	-0.0047	-0.0041	-0.0186	-0.0157
Suma transporte tierra	-0.0155	-0.0093	-0.0126	-0.0142	-0.0085	0.9914	-0.0169	-0.0026	-0.0072
Suma transporte, aéreo y marítimo	-0.0009	-0.0014	-0.0026	-0.0033	-0.0037	-0.0015	0.9931	-0.0012	-0.0035
Suma servicios y comercio	-0.1306	-0.1429	-0.1284	-0.1240	-0.1109	-0.1319	-0.3021	0.8628	-0.1835
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31 Construcción de la matriz $(I - A^*)^{-1}$
—petajoules/miles de millones de pesos—

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Energéticos				Económicos				
	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	1.2664	0.0000	1.1106	2.7573	0.4963	0.6885	0.2186	0.4160	0.6904
Renovables	0.0039	1.0000	0.0036	0.4470	0.0324	0.0737	0.0140	0.0332	0.0443
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.1123	0.0000	1.1936	2.4147	0.4887	0.6497	0.2127	0.3924	0.6880
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0.0226	0.0000	0.0206	2.6130	0.1799	0.4291	0.0751	0.1724	0.2402
Agropecuario	0.0001	0.0000	0.0002	0.0011	1.0991	0.0014	0.0062	0.0496	0.0063
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0001	0.0000	0.0002	0.0058	0.0034	1.0320	0.0232	0.0052	0.0032
Construcción	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0026	0.0016	1.0690	0.0009	0.0012
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0003	0.0003	1.0080	0.0004
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0001	0.0000	0.0001	0.0017	0.0045	0.0013	0.0031	0.0083	1.2090
Industria química	0.0069	0.0000	0.0070	0.1116	0.0507	0.0340	0.0252	0.0293	0.0577
Industria del cemento y vidrio	0.0001	0.0000	0.0001	0.0006	0.0029	0.0015	0.0615	0.0516	0.0007
Industria básica del hierro y el acero	0.0000	0.0000	0.0001	0.0008	0.0065	0.0026	0.0628	0.0084	0.0032
Fabricación de automóviles y camiones	0.0000	0.0000	0.0001	0.0009	0.0013	0.0035	0.0024	0.0032	0.0020
Suma de otras industrias	0.0007	0.0000	0.0024	0.0100	0.1000	0.0150	0.0667	0.2237	0.0674
Suma transporte tierra	0.0007	0.0000	0.0018	0.0134	0.0105	0.0084	0.0128	0.0135	0.0189
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0000	0.0000	0.0001	0.0014	0.0010	0.0025	0.0012	0.0027	0.0022
Suma servicios y comercio	0.0087	0.0000	0.0136	0.1036	0.1136	0.1759	0.1899	0.2096	0.2665
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Subsector (compras) \ Subsector (ventas)	Económicos								
	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	0.7990	1.4593	0.8624	0.1498	0.5825	2.6172	2.0686	0.0684	0.0857
Renovables	0.0207	0.0937	0.0461	0.0098	0.0703	0.0116	0.0088	0.0057	0.0051
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.8358	1.4273	0.8716	0.1460	0.4741	2.8082	2.2197	0.0654	0.0847
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0.1137	0.5457	0.2670	0.0522	0.3078	0.0662	0.0496	0.0298	0.0273
Agropecuario	0.0047	0.0020	0.0020	0.0048	0.0958	0.0014	0.0016	0.0022	0.0021
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	0.0085	0.0752	0.1343	0.0059	0.0056	0.0008	0.0007	0.0007	0.0006
Construcción	0.0006	0.0010	0.0013	0.0006	0.0016	0.0019	0.0009	0.0025	0.0041
Industria de las bebidas y del tabaco	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0005	0.0002	0.0004	0.0009	0.0004
Fabricación de pulpa, papel y cartón	0.0088	0.0125	0.0017	0.0034	0.0099	0.0016	0.0021	0.0049	0.0117
Industria química	1.2304	0.0820	0.0484	0.0132	0.0485	0.0236	0.0180	0.0117	0.0336
Industria del cemento y vidrio	0.0015	1.0663	0.0009	0.0036	0.0032	0.0007	0.0008	0.0015	0.0006
Industria básica del hierro y el acero	0.0018	0.0089	1.2021	0.0474	0.0364	0.0016	0.0023	0.0028	0.0017
Fabricación de automóviles y camiones	0.0012	0.0023	0.0023	1.0707	0.0015	0.0159	0.0223	0.0023	0.0013
Suma de otras industrias	0.0234	0.0204	0.0213	0.0537	1.0883	0.0150	0.0176	0.0245	0.0233
Suma transporte tierra	0.0216	0.0163	0.0196	0.0176	0.0135	1.0138	0.0221	0.0038	0.0091
Suma transporte, aéreo y marítimo	0.0016	0.0024	0.0040	0.0042	0.0046	0.0020	1.0078	0.0015	0.0039
Suma servicios y comercio	0.2077	0.2361	0.2282	0.1791	0.1787	0.1929	0.3880	1.1690	0.2286
Suma de gobierno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla.32 Construcción de la matriz ($G * \hat{X}^{-1}$)
—petajoules/miles de millones de pesos—

		Energéticos				Económicos				
Subsector (ventas)	Subsector (compras)	Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos	Renovables	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Electricidad	Agropecuario	Minería de minerales metálicos y no metálicos	Construcción	Industria de las bebidas y el tabaco	Fabricación de pulpa, papel y cartón
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos		1	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables		0	1	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón		0	0	1	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica		0	0	0	1	0	0	0	0	0
		Económicos								
Subsector (ventas)	Subsector (compras)	Industria química	Industria del cemento y vidrio	Industria básica del hierro y el acero	Fabricación de automóviles y camiones	Suma de otras industrias	Suma transporte tierra	Suma transporte, aéreo y marítimo	Suma servicios y comercio	Suma de gobierno
Extracción de petróleo y gas y transporte por ductos		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovables		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Referencias

AFP, (2015, 19 de abril)/ “Mezcla mexicana liga siete jornadas con ganancias”. *El Economista*. México. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/mercados-estadisticas/2015/04/19/mezcla-mexicana-liga-siete-jornadas-ganancias>

Alvarez Laparte, Alfredo (2015, 4 de febrero)/ “La caída de los precios del petróleo: consecuencias para México”, *El Financiero*, IMEF. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/la-caida-de-los-precios-del-petroleo-consecuencias-para-mexico.html>

Arbex, A. y Perobelli, F. (2010)/ “Solow meets Lentief: Economic growth and energy consumption” *Energy Economics* núm. 32, pp. 43-53.

Arreola, Javier (2015, 1 de diciembre)/ “¿Qué implica para México la baja en los precios del petróleo?” *Forbes*. Disponible en: <http://www.forbes.com.mx/que-implica-para-mexico-la-baja-en-los-precios-del-petroleo/>

Bhattacharyya, Subhes (2011)/ *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer, London Dordrecht Heidelberg, New York.

Bullard, C. y Herendeen, R. (1975a)/ “Energy impact of consumption decisions”, *Proceedings of the IEE* vol. 63, núm. 3, marzo.

--- (1975b)/ “The energy cost of goods and services”, *Energy Policy*. Diciembre.

Casler S. y Suzannne, W. (1984)/ “Energy input-output analysis: a simple guide”, *Resources and energy* núm. 6, pp. 187-201. North-Holland.

Collins Rudulf, Jhon (2014, 14 de noviembre)/ “Is peak oil behind us? *The New York Times*. Disponible en: <http://green.blogs.nytimes.com/2010/11/14/is-peak-oil-behind-us/?partner=rss&emc=rss>

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2014)/ DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía. Viernes 20 de diciembre de 2013, edición vespertina.

El País, (2014, 16 de diciembre)/ “El precio del petróleo cae al nivel más bajo en cinco años”, *El País*. Madrid.

Disponible en: http://economia.elpais.com/economia/2014/12/16/actualidad/1418718512_003113.html.

García, Karol (2015, 1 de febrero)/ “Producción y ventas de crudo, en mínimos de 30 años”, *El Economista*. México. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2015/02/01/produccion-ventas-crudo-minimos-30-anos>

---(2015, 7 de enero)/ “Cierra el peor año petrolero del país en un lustro”, *El Economista*. México. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2015/01/07/cierra-peor-ano-petrolero-pais-lustro>

Gobierno de la República, (2013a)/ *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*, México. Disponible en <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>

---(2013b)/ *Programa Sectorial de Energía 2013-2018*, México. Disponible en <http://sener.gob.mx/res/PROSENER.pdf>

---(2014)/ *Reforma Energética*, Disponible en: http://reformas.gob.mx/wp-content/uploads/2014/04/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf

Graedel, T. y Voet, E., (2009a)/ “Linkages of Sustainability” en Graedel, T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

Graedel, T. y Voet, E., (2009b)/ “The Emerging Importance of Linkages” en Graedel, T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

Graedel, T. Allendy, B. (2010)/ *Industrial Ecology and Sustainable engineering*, T.E Graedel, Prentice Hall, Tercera edición.

Greene, David, (2009)/ “Measuring Energy Sustainability” en Graedel, T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

Herendeen, R. y Tanaka, J. (1976)/ “Energy cost of living”, *Energy* vol. I, pp. 165-178. Pergamon Press. Marzo 1976.

Hirsch, Robert (2005)/ “The inevitable peaking of world oil production”, *The Atlantic Council of the United States* vol. XVI, núm.3. Octubre 2005. Disponible en: <http://www.oildecline.com/hirsch2.pdf>

Hubber, King(1956)/ “Nuclear energy and fossil fuels”, *Shell development company, exploration and production research division* num. 95, Houston Texas.

Inman, Mason (2010, 10 de noviembre)/ “Has de world already passed “peak oil”, *National Geographic*. Disponible en: <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2010/11/101109-peak-oil-iea-world-energy-outlook/>

Instituto Global para la Sustentabilidad (IGS), (2014)/ *Energías Renovables para la Competitividad en México*. EGADE Business School, Tecnológico de Monterrey. Mayo.

Lenzen Manfred, (1998)/ “Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis”, *Energy Policy* vol. 26 núm. 6, pp 506, Department of Applied Physics, The University of Sydney, Australia.

Löschel, A. Johnston, J., Delucchi, M., Demayo, T., Gautier, D., Greene, D., Joan, O., Steve, R. y Ernst, W. (2009)/ “Stocks, Flows, ad prospects of Energy” en Graedel,T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

Luna, Carmen (2015, 14 de enero)/ “¿Por qué es buena la importación de crudo para México?”, *cnnextension*. México. Disponible en: <http://www.cnnexpansion.com/economia/2015/01/09/por-que-es-buena-la-importacion-de-crudo-para-mexico>

Markaki M., BelegriRoboli, Michaelides P. Mirasgedis y Lalas D. P., (2013)/ “The impact of energy investment on the Greek Economy: an inputoutput analisis (2010-2020), *Energy Policy*. Faculty of Applied Mathematics and Physics, National Technical University of Athens, Atenas Grecia.

Miller, R. y Blair, P. (2009)/ *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, Cambridge University Press, Second edition, Cambridge, New York. Pp. 1-66, 399-442.

Moreno, Brid y J. Ros (2010)/*Desarrollo y Crecimiento en la economía mexicana una perspectiva histórica*, FCE, México.

Muciño, Francisco (2015, 2 de enero)/ “Lo bueno, lo malo y lo feo de la reforma energética”, *Forbes*. México. Disponible en: <http://www.forbes.com.mx/lo-bueno-lo-malo-y-lo-feo-de-la-reforma-energetica/>

Notimex (2014, 30 de junio)/ “México cuenta con suficiente energía para cubrir la demanda nacional: cfe” *Milenio*. México. Disponible en: http://www.milenio.com/negocios/CFE-Enrique_Ochoa_Reza-Reforma_energetica-Energia_0_326967620.html

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2013)/ *Quinto informe sobre cambio climático*, 2013.

PNUMA, (2011) *Towards a Green Economy, Pathways to Sustainability Development and Poverty Eradication*. ONU.

Proops J.L.R (1976)/ “Input-Output analysis and energy intensities: a comparison of some methodologies”, *U, Appl. Math. Modelling* vol 1, March, Department of Economics, University Q/ Keele, Keele, Sta. S. Jordshire.

Proops. John, Gay P., (1996). /“The lifetime pollution implications of various types of electricity generation, An input output analysis”, *Energy Policy*” vol, 24 núm. 3 pp. 229 Keele University, Reino Unido.

Rabasa Kovacs, Tania (2013)/ “Auges petroleros en México: sucesos fugases”, *Economíaunam* vol. 10 núm. 29. Facultad de Economía, UNAM, México.

Reuters (2015,6 de enero)/ “EU confirma negociación para exportar crudo ligero a México” *El Financiero*. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/eu-confirma-negociacion-para-exportar-crudo-ligero-a-mexico.html>

Rosales, Rodrigo (2015, 5 de mayo)/ “Analistas recortan previsión del PIB a 2.88% en el2015”, *El Economista*. México. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2015/05/05/analistas-recortan-prevision-crecimiento-288-2015>

Ruiz Nápoles, Pablo (2012)/ “Low carbon development strategy for Mexico: an input-output analysis”. Agence Francaise of develoment, UNEP, and UNAM.

Secretaria de Energía (SENER), (2015)/ *Balance Nacional de Energía 2013*, México.

---Sistema de Información Energética (SIE). <http://sie.energia.gob.mx/>

---(2014a)/*Estrategia Nacional de Energía 2014-2028*. Febrero de 2014, México. Disponible en <http://www.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/62/2/2014-03-04-1/assets/documentos/ENE.pdf>

--- Inventario Nacional de Energía Renovable (INER).<http://200.23.166.159/publica/version2.4.1/>

---(2014b)/ *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. Disponible en <http://sener.gob.mx/res/planeacion/PEAER%202014.pdf>

---(2014c)/ *Prospectiva de petróleo y petrolíferos, 2014-2018*, México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/Prospectiva_de_petroleo_y_petroliiferos.pdf

---(2013a)/ *Balance Nacional de Energía 2012*, México.

---(2013b)/ *Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Disponible en http://sener.gob.mx/res/ENTEASE%202013_FINAL.pdf

---(2013c)/ *Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027*. Disponible en http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2014/Prospectiva_Energias_Reno_13-2027.pdf

---(2013d)/ *Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027*. Disponible en http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf

Suh, Sangwon (2009), / *Handbook of Input-Output Economic in Industrial Ecology*, Springer, Estados Unidos.

Stern Nicholas, (2007)/ *El informe Stern: la verdad sobre el cambio climático*. Paidós Iberica.

Torres, Mauricio (2014, 8 de agosto)/ “20 claves para entender como quedó la reforma energética”, *CNNMéxico*. México. Disponible en: <http://mexico.cnn.com/nacional/2014/08/08/20-claves-para-entender-como-queda-la-reforma-energetica>

Webber, Jude (2014, 8 de diciembre)/ “Caída del precio del petróleo nubla reforma energética”, *El Financiero*. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/financiamiento/caida-del-precio-del-petroleo-nubla-reforma-energetica.html>

Wilbanks, Thomas, (2009)/ “Considering Issues of Energy Sustainability” en Graedel,T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

Withgott, J. Brennan, S (2008)/ *Environment, the science behind the stories*, Pearson Education, tercera edición.

Worrel, Ernst (2009)/ “Energy without Constraints” en Graedel,T. y Voet, E. (coord.), *Linkages of Sustainability*. MIT Press Scholarship Online: agosto 2013.

