

Prospectiva del consumo de energía y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El caso de México

Horacio Catalán
Luis Sánchez

Introducción

El cuarto reporte del IPCC (2007) destaca que las emisiones de los distintos gases de efectos invernadero (GEI), como el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarburos (CFC), han alterado la composición de los gases en la atmósfera, atrapando parcialmente más radiación de onda larga saliente y con ello, se ha modificado el balance radiactivo promedio. En el caso de las emisiones de CO_2 , se deben en gran medida al consumo de combustibles de origen fósil (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina) sobre todo en el sector transporte, así como la deforestación y la producción de cemento. La principal consecuencia del aumento en las concentraciones de los GEI es el fenómeno conocido como cambio climático reflejado en un aumento de la temperatura media del planeta, cambios en los patrones de precipitación, reducción de la criósfera, alza del nivel del mar y modificaciones en los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). Así, tenemos que la anomalía en la temperatura se ha incrementado pasando de $0.16\text{ }^\circ\text{C}$ en 1977 a $0.76\text{ }^\circ\text{C}$ en 2007, lo cual implica un aumento promedio anual del orden de 7.9% desde 1977 a 2007. Estos resultados son confirmados por distintas investigaciones así como distintos centros meteorológicos a nivel mundial, tomando mediciones tanto en la superficie terrestre como en el nivel del mar (IPCC, 2007, p. 243).

En esta perspectiva, las emisiones de los distintos GEI están vinculadas directamente al consumo de combustibles fósiles, los cuales son la base de la generación de energía que requieren las actividades diarias de la sociedad moderna. En México, las emisiones totales de GEI pasaron¹ de un nivel de 425 268 Gg en toneladas equivalentes de CO_2 (tCO_2e) en 1990 a 553 329 Gigagramos (Gg) en el 2002 y donde la mayor contribución a las emisiones totales provienen de la producción y el uso de la energía, que anualmente aporta en promedio 72% de las emisiones totales y el consumo de combustibles fósiles contribuye, en promedio, con 64% de las emisiones totales.

* Profesores de la Facultad de Economía de la UNAM. Agradecemos los comentarios de Luis Miguel Galindo y Eduardo Alatorre. Desde luego los errores son responsabilidad de los autores.

¹ Excluyendo las emisiones originadas en el cambio de uso de suelo.

les (SEMARNAT-INE, 2006a). Esta contribución resulta además preocupante atendiendo a la dinámica del consumo de energía.² En efecto, en el periodo de 2000 a 2007, la producción de energía primaria se ha incrementado a un ritmo de 8.5%, pasando de 9 703 petajoules (PJ), en 2000 a 10 523 PJ en 2007. En este contexto, la importancia del sector energético tanto por su aporte a la producción doméstica como en lo que se refiere a las emisiones de GEI plantea la relevancia de analizar su evolución y su posible trayectoria hacia el futuro. Por otra parte, en el ámbito de las políticas públicas, el gobierno mexicano ha identificado la necesidad de controlar y reducir las emisiones de GEI, en especial, en los sectores donde es posible lograr co-beneficios ambientales, económicos y de competitividad, así como impulsar capacidades de respuesta ante los impactos previsible del cambio climático (PECC, 2009). En este sentido, el sector energía resulta crucial en la estrategia de mitigación y adaptación.

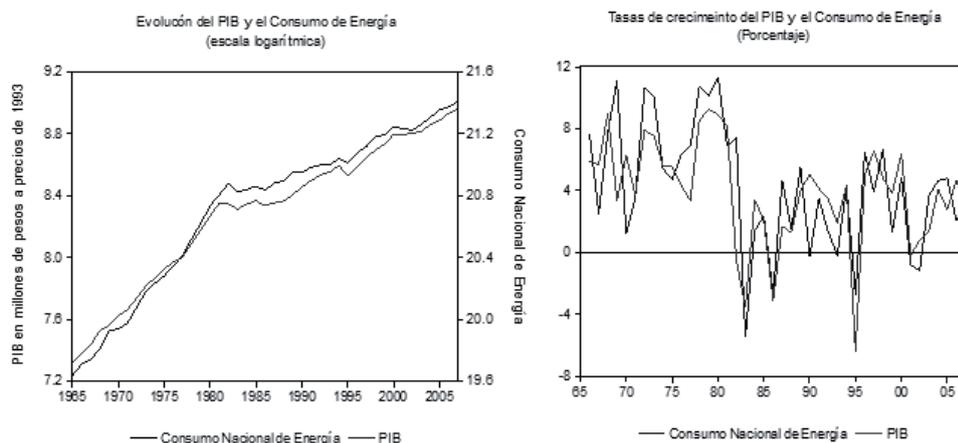
Así, el principal objetivo del presente artículo es analizar la evolución del consumo de energía a nivel sectorial, identificando sus principales determinantes con el propósito de construir escenarios prospectivos que sirvan de guía en la evaluación de distintas medidas de políticas públicas. El artículo se integra por cinco apartados, incluyendo la presente introducción, en el segundo se realiza una descripción general de la matriz energética en México y sus emisiones de GEI; en la tercera se presentan las trayectorias de consumo de energía y emisiones, y finalmente las conclusiones.

II. Matriz energética en México: una perspectiva general

La energía se ha convertido en una materia prima hegemónica y fundamental para el funcionamiento de las economías. México no es la excepción, de hecho la evolución del crecimiento económico muestra una alta correlación, tanto en niveles como en tasas de crecimiento, con el consumo nacional de energía (gráfica 1). Efectivamente, la evolución del consumo de energía muestra una trayectoria ascendente que sigue con un cierto rezago los cambios en la trayectoria del producto (Galindo, 2009). En este sentido, existe una fuerte asociación entre los niveles de producción, de energía y por consiguiente con el nivel de empleo y en los niveles de emisión de GEI (Dinda, Coondoo y Pal, 2000).

² El termino consumo y demanda se utilizará indistintamente en este capítulo.

Gráfica 1
Evolución del PIB y el Consumo Nacional de Energía



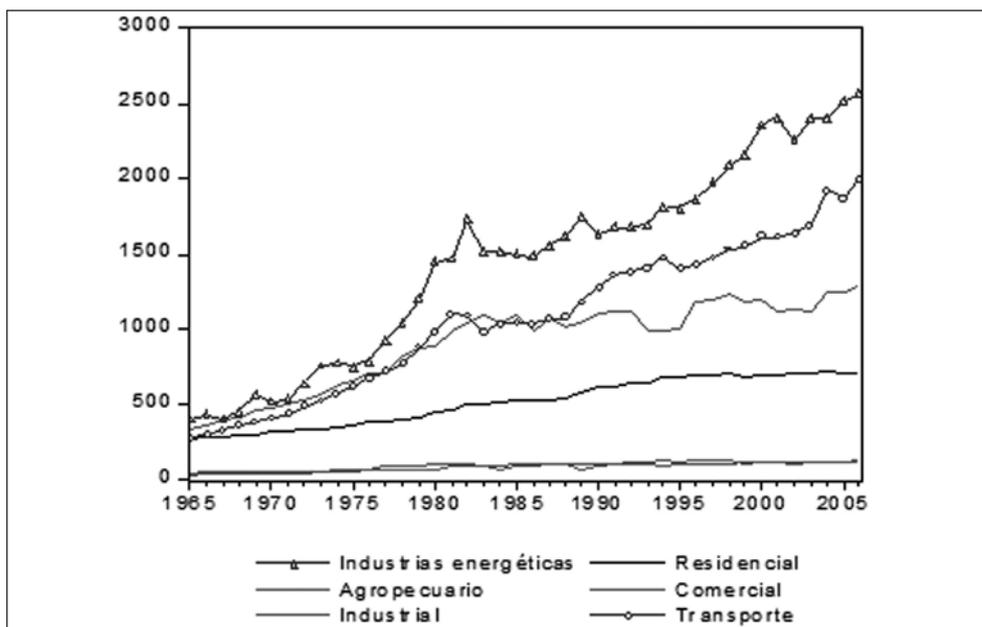
Fuente: INEGI y Sistema de Información Energética (SIE).

El consumo *per cápita* de energía, después de un acelerado crecimiento durante el periodo de 1965 a 1980, se ha mantenido relativamente estable, con una ligera recuperación a partir de 1995. Así, entre el período de 2000 a 2006 muestra una tasa de crecimiento media anual del orden de 1.1%, pasando de un nivel de 69 800 millones de joules por habitante en el año 2000 a un nivel de 75 277 millones joules en 2006. Este nivel de consumo indica que cada habitante ha demandado, aproximadamente 20 mega watts, lo equivale a tener encendido un poco más de 500 foco de 100 watts todo el año, y este nivel de energía, con la tecnología actual, requiere el consumo de 1 750 litros de petróleo al año por habitante.

Ello sugiere que tanto la población se ha hecho más intensiva desde el punto de vista energético como consecuencia de la creciente demanda de energía asociada a la evolución del producto lo que desde luego plantea un reto importante para el futuro. De tal manera que, los actuales niveles de consumo de energía en México asociados, fundamentalmente, a la trayectoria del producto son ciertamente inconsistentes con un desarrollo económico sustentable. En efecto, los requerimientos energéticos de la economía mexicana por unidad de producto son ciertamente elevados de tal modo que una recuperación sostenida del ritmo de crecimiento económico se vería acompañada por una creciente demanda de energía con sus consecuencias negativas sobre el medio ambiente (Galindo y Caballero, 2007).

A nivel de sectores (gráfica 2), se observa que el consumo final de energía se concentra en las industrias energéticas, el transporte y la industria. En el caso de las industrias energéticas muestran un gran dinamismo durante el período de 1996 a 2006 a un ritmo de crecimiento promedio anual de 3% y actualmente representa 28% del Consumo Nacional de Energía. El transporte también ha registrado un crecimiento acelerado a una tasa de 3.4% para el mismo período de referencia, en tanto que la demanda de energía por parte de la industria ha crecido lentamente en 0.8% anual. Es importante, destacar que el sector Transporte, representa aproximadamente 24% del consumo nacional de energía, y se estima que en 2002 el consumo de energía de este sector fue de 1 605 PJ; de donde 91% se concentró en el transporte automotor (INE, 2006, p. 55).

Gráfica 2
Evolución del consumo de energía por sectores (Petajoules)



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética (SIE).

Asociado al consumo de energía, cada sector tiene requerimientos diferentes sobre las fuentes de abastecimiento de combustibles. En el caso del transporte el uso de los combustibles es ciertamente significativo. Se puede observar que en el sector, las gasolinas y el diesel son los combustibles que más se emplean con participaciones porcentuales de 64 y 27% respectivamente. En el sector industrial, el gas natural es el energético que más se utiliza con cerca

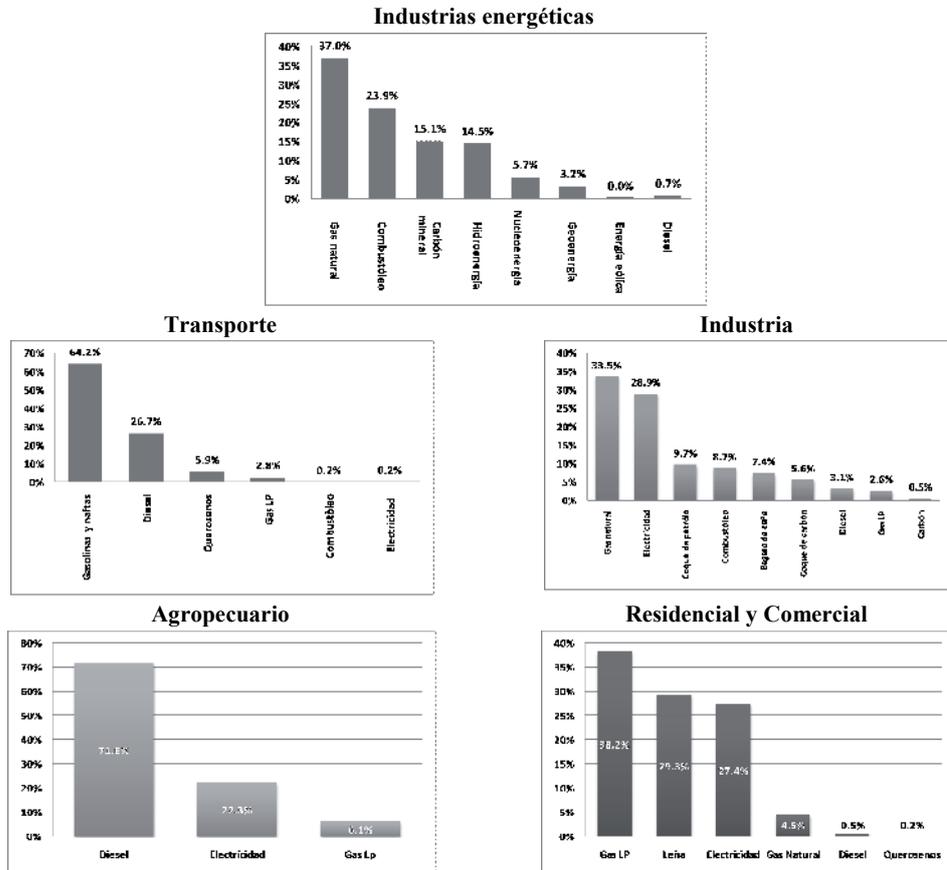
de 34%, seguido de la electricidad con 28%, el coque de petróleo con 10% y el diesel con 3.1% (SENER, 2007). De estos combustibles, el gas natural es el que ha tenido una mayor relevancia ya que su tasa de crecimiento promedio anual ha sido de casi 7% anual para el período de 1965 a 2006.

En los casos residencial y comercial las cifras presentadas en el Balance Nacional de Energía 2006 (SENER, 2007) indican que el combustible que más se utiliza es el gas licuado de petróleo³ el cual tiene una participación de 38% con respecto al total de fuentes de abastecimiento, seguidos de la leña y de la electricidad con 29 y 27% respectivamente. El sector agropecuario en general en los últimos diez años ha contribuido con cerca de 1.7% del consumo nacional de energía y el combustible que más se ha utilizado en este sector es el diesel que, según datos de la SENER (2007), contribuye con cerca de 72% del abastecimiento en ese sector, seguido de la electricidad con 22.3% y el gas licuado de petróleo con 6.1% aproximadamente.

Las principales tendencias en el sector energético muestran que la demanda de energía se concentra en los sectores del Transporte (24%), Industrias energéticas (28%) e Industria (17.4%). En el caso del Transporte la principal fuente de combustible son las gasolinas y el diesel, en tanto que las Industrias energéticas destacan el gas natural y el combustóleo, en tanto que en el sector industrial el gas natural y la electricidad. Estos sectores han registrado, en los últimos siete años, un crecimiento sostenido en el consumo de energía y en consecuencia de los combustibles de origen fósil, lo cual se ha traducido en un aumento de las emisiones de los GEI, de hecho los tres sectores contribuyen con cerca de 60% de las emisiones de CO₂.

³ Está compuesto de propano, butano o de una mezcla de ambos (El propano y el butano están formados por hidrocarburos compuestos de tres y cuatro átomos de carbono respectivamente). Se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento de los líquidos del gas natural. Es fácil de almacenar en cilindros o en tanques estacionarios y de transportar. Este tipo de gas es utilizado en los sectores residencial, comercial y transporte, principalmente. Es emisor de óxidos de nitrógeno el cual aumenta la cantidad de ozono en la atmósfera.

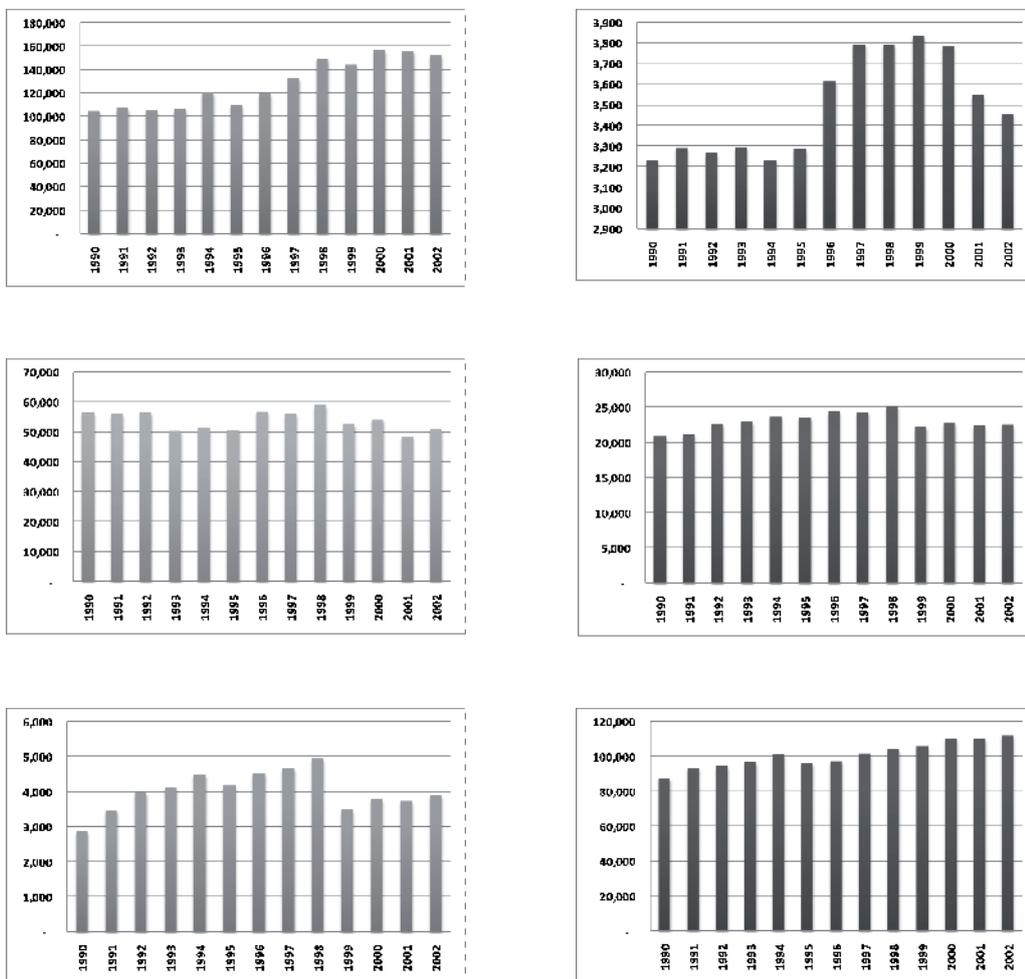
Gráfica 3
Participación porcentual de los combustibles por sectores: 2006



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

El sector transporte tuvo un incremento en las emisiones de GEI, medidas en tCO₂e, a una tasa de 2%, pasando de 88 millones de toneladas en 1992 a 112 millones de toneladas en 2002 (gráfica 3). Las industrias energéticas presentaron, un aumento en las emisiones pasando de 105 millones de toneladas de CO₂ equivalentes en 1990 a 152 millones de toneladas en el 2002. Esto significa una tasa de crecimiento anual promedio de 2.9%. La trayectoria de las emisiones de CO₂ para el sector industrial presenta una tendencia decreciente ya que la cantidad de emisiones paso de 57 millones de CO₂ equivalente a 51 millones en 2002, esto indica una caída en la tasa de crecimiento anual de 0.8%, además de que su participación porcentual con respecto a las emisiones totales del sector energético, ha disminuido aproximadamente 6%, pasando de 20.5 a 14.8% de 1990 a 2002. Durante este período de análisis el sector industrial ha sido el único que ha disminuido sus emisiones de CO₂.

Gráfica 4
Emisiones de CO₂ por sector energético: 1990-2002 (Gigagramos (Gg))



Fuente: (SEMARNAT-INE) (2006), Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero: 1990-2002.

El sector agropecuario, ha mantenido una tendencia ascendente en la cantidad de emisiones de CO₂ a la superficie ya que tuvo una tasa de crecimiento anual de 0.5%. El sector residencial, se comporta en forma similar al caso del sector agropecuario, ya que presenta una tasa de 0.57% anual pasando de 21 millones de toneladas a 22 millones 500 mil toneladas de CO₂ equivalente de 1990 a 2002. Finalmente se ha presentado un aumento de 2.4% cada año en las emisiones del sector comercial, es decir, han aumentado cerca de un millón 600 mil toneladas equivalentes comparando las emisiones de 1990 y 2002.

Las principales tendencias muestran que existe una demanda creciente de combustibles de origen fósil, cuyo resultado final es un aumento de las emisiones de los GEI. En este contexto, resulta relevante contar con escenarios prospectivos sobre la demanda de energía y sus posibles impactos en la demanda de combustibles y emisiones a fin de identificar los potenciales niveles de emisiones hacia el mediano plazo.

III. Escenarios de crecimiento de la demanda de energía

En el caso de la economía mexicana la demanda nacional de energía, se especificó tanto a nivel nacional como por sectores (industrias energéticas, el agropecuario, el industrial, el residencial, el comercial y el transporte) con base en una especificación de una función de demanda donde el consumo de energía es una función del ingreso y los precios relativos de la energía (Jorgenson y Wilcoxon, 1993, Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997, Jorgenson y Wilcoxon, 1998, Sterner, 1989 y Boone, Hall, Kemball-Cook y Smith, 1995 y Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997, Stern (2000), Glasure (2002), Hondroyannis, Lolos y Papapetrou (2002), Soyta y Sari (2003), Stern y Cleveland (2003), Galindo (2005), Galindo y Sánchez (2005) y Galindo y Caballero (2007).

$$(1) \text{eci}_t = \beta_0 + \beta_1 y_t + \beta_2 pt + ut$$

Donde eci_t representa los distintos tipos de energía incluyendo agrícola, industrial, residencia y transporte; el primer subíndice indica el tipo de consumo energético y el segundo el período de tiempo, y_t es tanto el producto total para el caso de los sectores industrial y agrícola se utilizan sus respectivos productos y pt son los precios relativos de la energía. ut es el término de error.⁴ Las estimaciones de las funciones de demanda se basaron en el uso

⁴ Para una definición detallada de las series ver el Apéndice.

de métodos econométricos que consideran el orden de integración de las series (Maddala y Kim, 1998) y la posible presencia del problema de regresión espuria (Granger y Newbold, 1974 y Enders, 2004).

Las estimaciones permitieron entonces identificar relaciones de cointegración entre las diversas demandas de energía, los productos respectivos y los precios relativos de los energéticos siguiendo con la metodología econométrica. En el cuadro 1 se reportan los resultados de la estimación de las elasticidades precio e ingreso de largo plazo de la demanda de energía a nivel nacional y por sectores, las cuales se obtuvieron por medio del método de Johansen (1988) a través de la estimación de modelos de Vectores autorregresivos (VAR).

Cuadro 1
Ecuaciones normalizadas de la demanda de energía nacional y por sectores

Coeficiente	cne_t	$ceie_t$	cea_t	cei_t	cer_t	cec_t	cet_t
β_0	-15.892	-7.441	-11.979	-8.432	-4.975	-10.597	-12.916
β_1	1.170	0.881	0.865	0.792	0.550	0.760	1.049
β_2	-0.156	-0.158	-0.251	-0.328	-0.236	-0.222	-0.397

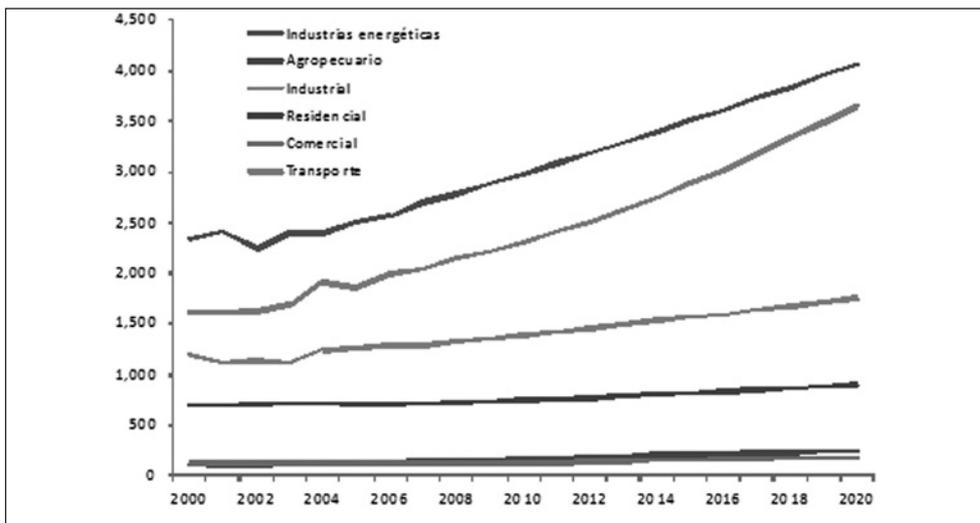
Notas: las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Período 1966-2006.

La demanda nacional de energía muestra una elasticidad ingreso muy cercana a la unidad, confirmando la estrecha relación entre las trayectorias del producto y el nivel de consumo. En tanto que la elasticidad precio, reporta un valor muy bajo de -0.16 indicando la dificultad de utilizar los precios para regular el consumo de energía. En el caso de la demanda de industrias energéticas se presenta una elasticidad ingreso cercana a la unidad y nuevamente la elasticidad precio sigue siendo muy baja y similar a la estimada por la nacional. El sector agropecuario e industrial muestra que, existe una elasticidad ingreso de 0.86 y 0.80 respectivamente así como un coeficiente de precios relativos bajo. Destaca que la elasticidad precio del sector industrial es de las más elevadas no obstante que sigue siendo inelástica. Para el sector residencial y comercial las elasticidades ingreso indican una relación por arriba de 0.5, lo cual es relativamente baja en comparación con los otros sectores. Por su parte, las elasticidades precio, de manera general, están entre -0.22 y -0.23. Finalmente el sector transporte tiene una elasticidad ingreso superior a la unidad, por lo cual un incremento en el nivel del ingreso la

demanda de energía en transporte crece más que proporcional y una elasticidad precio baja pero superior a la de otros sectores.

A fin de obtener una trayectoria base sobre las demandas de energía estimadas, se realizaron los siguientes supuestos sobre las variables exógenas de los modelos econométricos, que definen el escenario base. Se asume un crecimiento del producto de 3.5% en promedio anual en el período 2008 a 2020, para el PIB nacional; el crecimiento en el PIB Industrial es de 2.8%; el sector agropecuario crece a 2.8%; se asume un crecimiento de 3.7% en sector comercial; el crecimiento en el sector transporte es de 6%. No existen cambios en los precios relativos de energéticos y no existen cambios en las intensidades energéticas. Los resultados de las estimaciones se presentan en la gráfica 5 para los distintos sectores demandantes de energía.

Gráfica 5
Trayectorias esperadas del consumo de energía 2008-2020
(petajoules)

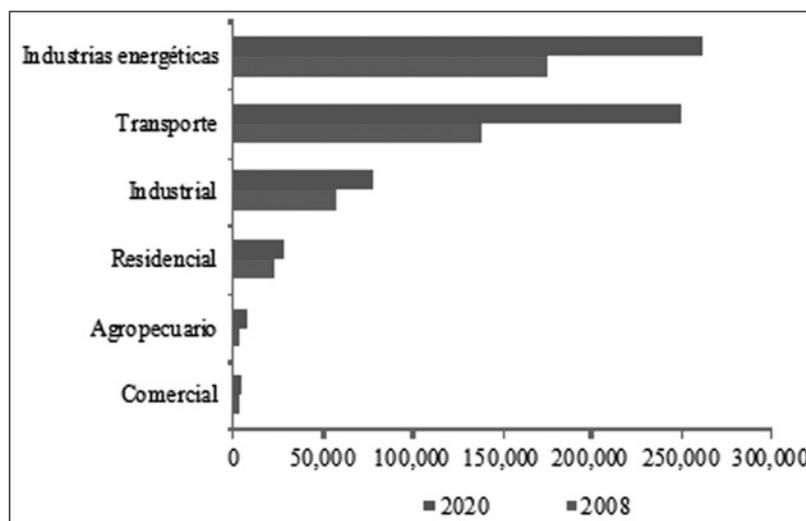


Los resultados sobre la trayectoria esperada del consumo de energía de las industrias energéticas, indican un ritmo de crecimiento de 3.2% anual, para el periodo de 2008 a 2020. De tal forma que, de no modificarse la estructura actual de consumo de energía y los requerimientos por sectores, hacia la siguiente década los niveles de consumo serán substancialmente mayores a los actuales. Los sectores que ejercerán una mayor presión sobre los recursos energéticos serán el sector transporte que muestra un acelerado ritmo

de crecimiento de 4.5% anual. El sector residencial también se destaca con un crecimiento de 1.8% anual, en tanto que la industria mantendrá su crecimiento en alrededor de 2.1% anual durante el período de 2008 a 2020. Estos resultados muestran los sectores prioritarios para la aplicación de políticas de control a fin de regular el consumo.

La gráfica 5, presenta las emisiones de CO₂ equivalentes a nivel de sectores. Bajo las condiciones actuales el sector transporte se mantendrá con un ritmo de crecimiento acelerado en sus niveles de emisiones. Este resultado es compatible con las prospectivas de SENER. En efecto, el documento “Prospectiva de petrolíferos 2008-2017” (SENER, 2008), se menciona que durante el período 2007-2017, se estima que el parque vehicular crecerá a una tasa de 5.3%. Al finalizar el período, la estructura del parque vehicular estará conformada principalmente por automotores a gasolina, los cuales representarán 95.2% del total de vehículos. Se espera que el consumo de gasolinas, aumentará en 2.6% anual entre 2008 a 2017.

Gráfica 6
Emisiones de CO₂ por sector 2008 y 2020
(miles de toneladas)



En este contexto, debería plantearse medidas como políticas de precios, una mayor eficiencia en el uso de la energía, introducción de autos híbridos y una modernización del transporte público permitirán reducir significativamente el crecimiento de las emisiones. Por su parte, el sector industrial, se espera un menor ritmo de crecimiento en sus emisiones, sin embargo, el sector es

uno de los principales demandantes de combustibles de origen fósil, del total del consumo de combustibles el gas natural es el energético que más se utiliza con cerca de 34%, seguido de la electricidad con 28%, el coque de petróleo con 10% (SENER, 2008), por lo cual se espera un incremento en la demanda de los diferentes combustibles. El uso del gas LP dentro del sector industrial tiene aplicaciones muy específicas, dentro de las que sobresale el ser una fuente de energía pura y limpia con la cual puede generarse calor de manera controlada. El gas LP es frecuentemente utilizado en hornos industriales, procesos de calefacción, cerámica, fabricación de vidrio, procesamiento de metales, secado de pintura, aerosoles, soldadura, entre otros. En este contexto se espera un aumento de 1.5% anual entre 2008 y 2017. Asimismo, se espera un crecimiento en el consumo de coque de petróleo, principalmente por demanda del sector del cemento, aportando al 2017 el 20.9% de la energía en el sector industrial, con un crecimiento promedio de 3.4% anual. El diesel será el combustible industrial con la mayor tasa media de crecimiento con 3.5%, convirtiéndose en el tercer combustible de mayor preferencia (SENER, 2008, p. 130).

En el caso del sector residencial, se espera mantenga relativamente constante su nivel de emisiones. Se estima que la demanda de gas en este sector permanecerá prácticamente constante. Los cambios desarrollados en el nivel actual de vivienda, el aumento en la tendencia en el ahorro de energía residencial, la introducción de esquemas energéticos alternos -como los paneles solares-, así como cambios en los hábitos de consumo son los principales factores que marcarán este comportamiento en el largo plazo, generando ahorros en los niveles de consumo. Además de contemplar esta tecnología, se espera el avance en eficiencias de calentadores convencionales, la sustitución de estufas de piloto por encendido electrónico y desplazamiento de gas LP por energía eléctrica mediante el uso de hornos de microondas. Sin embargo, estos procesos implicaran inversiones y modificaciones tecnológicas que en un contexto de restricción de recursos podrían afectar la modernización del sector residencial.

Asimismo, los sectores agropecuario y comercial mantendrán una contribución del orden de 2% en el total de emisiones por el uso de combustibles fósiles y no se espera un crecimiento acelerado. Los resultados, muestran claramente que el sector transporte representa una de las fuentes de emisiones de mayor consideración hacia el mediano plazo. Los escenarios al 2020 muestran que el consumo de energía se incrementará de una manera importante año con año, siendo un escenario nada alentador debido a los efectos que esto puede ocasionar en cuestiones de tráfico, en la salud humana y en

el medio ambiente. Esta situación requiere medidas económicas y técnicas que pueden cambiar el comportamiento habitual del consumo de este combustible teniendo efectos destacados sobre el entorno y el medio ambiente.

IV Conclusiones

La energía se ha convertido en un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las economías industrializadas y en transición. En México, debido a las trayectorias conjuntas entre producción y consumo de energía, ingreso y GEI existe un fuerte debate sobre el tipo de política que debe adoptar el gobierno y la sociedad para disminuir los efectos nocivos que genera esta relación. Pero aún, analizando las series de demanda de energía se puede observar que todavía la trayectoria conjunta entre estas variables aún es muy marcada.

Los resultados obtenidos de las estimaciones del consumo de energía señalan que las elasticidades ingreso son positivas y en promedio reportan valores menores a la unidad, en cambio los precios relativos de la energía tienen un efecto negativo y en general muy bajo, por lo que se puede decir que el consumo de energía en México muestra una fuerte dependencia y asociación entre el consumo de energía y el producto, que los movimientos en los precios no influyen de manera importante en su trayectoria de largo plazo. Por otra parte, las fuentes de abastecimiento de la generación de energía se basan en combustibles de origen fósil, sobre todo de gas natural, combustóleo, gasolina y diesel, lo cual significa que de no modificarse las fuentes de abastecimiento el mayor consumo de energía hacia el futuro implicará un aumento en la demanda de estos combustibles.

Las estimaciones de CO₂ equivalente al 2020 muestran que, el sector transporte podría concentrar 39% de las emisiones por demanda de energía y las industrias energéticas hasta en 41%. En el caso del transporte se espera un lento crecimiento de la eficiencia de la flota vehicular (kilómetros por litro) que no podrá compensar la expansión de la flota vehicular y en consecuencia se espera una mayor demanda de gasolina, en las industrias energéticas no se esperan cambios en las fuentes de abastecimiento, es decir, se mantiene la dependencia de combustibles fósiles. En consecuencia las emisiones de CO₂ se mantendrán con su tendencia ascendente, por tanto si no se presentan políticas de precios y cambios tecnológicos en los respectivos sectores las cantidades de CO₂ y de otro tipo de contaminantes seguirá en aumento generando cambios radicales en el medio ambiente a nivel regional y en consecuencia afectará las actividades sociales y económicas y la salud de la población mexicana y contribuirá más al cambio climático global.

Bibliografía

- Boone, L., S.G. Hall, D. Kemball-Cook y C. Smith (1995), "Endogenous technological progress in fossil fuel demand", en *Global Warming and Energy Demand*, T. Barker, P. Ekins y N. Johnstone (eds.), Routledge, London y New York.
- Dinda, S., D. Coondoo y M. Pal (2000), "Air quality and economic growth: an empirical study", *Ecological Economics*, 34, 409-423.
- Enders, W. (2004), *Applied Econometric Time Series*, Second Edition, John Wiley y Sons, United States.
- Galindo, L.M. y K. Caballero (2007), "El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios", *Problemas del Desarrollo*, IIE, UNAM, México, enero-marzo, pp. 127-152.
- Galindo, L.M. (2005), "Short- and long run demand for energy in México: A cointegration approach", *Energy Policy*, 33, 1179-1185.
- Galindo, L.M. y L. Sánchez (2005), "El consumo de energía y la economía mexicana: Un análisis empírico con VAR", *Economía Mexicana*, Vol. XIV (2), segundo semestre, 271-298.
- Galindo, L.M. (coordinador) (2009), *La economía del cambio climático en México*, Secretaría de Hacienda y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Glasure, Y.U. (2002). "Energy and national income in Korea: Further evidence on the role of omitted variables", *Energy economics*, 24, 355-365.
- Granger, C. y P. Newbold (1974), "Spurious regressions in econometrics", *Journal of Econometrics*, 2, 111-120.
- Hondroyanis, G., S. Lolos, y E. Papapetrou (2002), "Energy consumption and economic growth: Assessing the evidence from Greece", *Energy Economics*, 24, 319-336.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (2006), *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), *Summary for Policymakers en Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave y L.A. Meyer (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Johansen, S. (1988), "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231-254.
- Jorgenson, D.W. y P.J. Wilcoxon (1998), "Fundamental tax reforms and energy markets", en *Growth. Econometric general Equilibrium Modeling*, D. W. Jorgenson (ed.), The MIT Press, Cambridge, MA, vol. 2, 413-441.

- Jorgenson, D. W. y P.J. Wilcoxon (1993), "Energy, the environment, and economic growth", en Kneese, A., Sweeney, J. (Eds.), *Handbook of natural resource and energy economics*, vol. III, 1267-1349.
- Mabey, N., S. Hall, C. Smith y S. Gupta (1997), *Argument in the greenhouse. The international economics of controlling global warming*, Routledge.
- Maddala, G.S. e I. Kim (1998), *Unit roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press.
- PECC (2009), *El Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009-2012*, Poder Ejecutivo Federal, México
- Secretaría de Energía (SENER) (2008), *Prospectiva de petrolíferos 2008-2017*, México.
- Secretaría de Energía (SENER) (2007), *Programa sectorial de energía 2007-2012*, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE) (2006a), *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE) (2006b), *México 3a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático*.
- Soytas, U. y R. Sari (2003), "Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-8 countries and emerging markets", *Energy Economics*, 25, 33-37.
- Stern, D.I. y C.J. Cleveland (2003), "Energy and economic growth", en *Encyclopedia of energy*, D.I. Stern y C.J. Cleveland (eds.) Academic Press, San Diego, CA.
- Stern, D.I. (2000). "A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy", *Energy Economics*, 22, 267-283.
- Sterner, T. (1989), "Factor demand and substitution in a developing country: Energy use in Mexican manufacturing", *Scandinavian Journal of Economics*, 91(4), 723-739.

Anexo. Series utilizadas

cne_t = Consumo nacional de energía (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

$ceie_t$ = Consumo de energía de las industrias energéticas (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

cea_t = Consumo de energía sector agropecuario (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

cei_t = Consumo de energía sector industrial (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

cer_t = Consumo de energía sector residencial (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

cec_t = Consumo de energía sector comercial (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

cet_t = Consumo de energía sector transporte (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.

y_t = Producto interno bruto real en miles de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

yag_t = Producto agropecuario real en miles de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

yin_t = Producto industrial real en miles de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

p_t = Índice nacional de precios al consumidor (base 2002=100), Banco de México (BANXICO).

pe_t = Índice nacional de precios de la energía (base 2002=100), Banco de México (BANXICO).

pre_t = Precios relativos de la energía (pe_t/p_t), elaboración propia con datos de BANXICO.