ESCENARIOS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

ESCENARIOS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

SERIE: ANÁLISIS ECONÓMICO ROBUSTO PARA UN DESARROLLO BAJO EN EMISIONES

Responsable: Horacio Catalán

Colaboradores: Carlos Alberto Cruz
Manuel García
Erick López

Este estudio ha sido posible gracias al apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Su contenido es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente el punto de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Índice

1. Resumen ejecutivo 2
2. Introducción 4
3. Consumo de energía una perspectiva mundial 7
4. Consumo de energía en México 19
5. Demanda de energía: una estimación econométrica 30
6. Escenarios del Consumo de Energía 2011-2050 43
7. Evolución de la economía mexicana 1960-2010 70
8. Construcción de trayectorias futuras de crecimiento 76
9. Evolución reciente de las emisiones en México 104
10. Consideraciones finales 115
11. Referencias bibliográficas 119

1. Resumen ejecutivo

El presente documento tiene como objetivo analizar y construir las trayectorias de la demanda de energía total y por sectores para México en el periodo de 2010 a 2050, consistente con el crecimiento de las actividades económicas en las próximas cuatro décadas. La metodología utilizada se apoya en la especificación y estimación de modelos econométricos sobre la demanda de energía, asumiendo como principales variables explicativas el nivel de actividad económica y los precios relativos de la energía. Estos modelos, permiten realizar ejercicios de simulación y proyección sobre el consumo de energía considerando distintos escenarios sobre los precios relativos y el crecimiento económico. El modelo tiene un enfoque "*top down*" en donde el consumo de energía se analiza en el contexto de un modelo macroeconómico que también estima las trayectorias de la actividad económica en los distintos sectores. Es importante aclarar, que estos escenarios representan un ejercicio de prospectiva que sirva de base para la construcción de una estrategia nacional orientada a una economía baja en emisiones de CO_2.

Las principales tendencias en el sector energético muestran que la demanda de energía se concentra en tres sectores: Transporte (24 por ciento), Industrias Energéticas (28 por ciento) e Industrial (17.4 por ciento). 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 que se ha traducido en un aumento de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), de hecho los tres sectores contribuyen con cerca del 60 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2 e). Los resultados de las estimaciones de los modelos econométricos muestran que, es posible identificar relaciones de largo plazo entre la demanda de energía por sectores, con el producto nacional y sectorial, así como los precios relativos de la energía. Las elasticidades ingreso se ubican alrededor de la unidad y las elasticidades precio son negativas pero cercanas a cero.

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 implicarán una aumento en la demanda de estos combustibles.

Así bajo un escenario base donde el conjunto de la economía crece a una tasa promedio anual de 3 por ciento entre 2010 a 2050, el consumo nacional de energía crecerá a una tasa del 2.81 por ciento anual. Este ritmo de crecimiento de la demanda de energía se explica en buena medida por la dinámica del sector transporte que será el principal demandante de energía y se espera que en 2050 represente el 38 por ciento de la demanda total. También destacan las industrias energéticas y el sector industrial como sectores que presionarán la demanda de energía. Este resultado es compatible con el hecho de que estos tres sectores (industrias energéticas, transporte e industrial) son los principales demandantes de combustibles de origen fósil (gasolina, gas y combustóleo). Por lo tanto, la trayectoria estimada de la energía tendrá un impacto importante en este tipo de combustibles y en consecuencia en las emisiones.

2. Introducción

En el cuarto reporte del IPCC[1] (IPCC, 2007, Solomon, et al., 2007) concluye que los incrementos en las temperaturas medias del aire y del océano, el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve, y la elevación del nivel medio del mar son evidencias inequívocas del calentamiento del planeta. De hecho existe un 90% de confianza en que el calentamiento global registrado durante el siglo XX se debe al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicas. La concentración acumulada de estos gases en la atmósfera en el año 2005 fue de aproximadamente 445 partes por millón (ppm) de dióxido de carbono equivalente (CO_2e)[2]. Por otra parte, el Informe Stern (2007) concluye que un aumento de las concentraciones de CO_2e de alrededor de 2.5 ppm por año en las próximas cuatro décadas implicará un nivel de concentraciones de 542.5 ppm para el año 2050. Estos niveles podrían generar un aumento de la temperatura media superficial del planeta de 2 a 5 grados centígrados (°C), aunque algunos modelos climáticos estiman que el doble de concentraciones de CO_2e implicará[3] un aumento de la temperatura mayor (entre 3.5 y 7 °C) si se incluyen algunos procesos de retroalimentación[4]. Asimismo, los costos asociados a los impactos del cambio climático podrían ubicarse de 5 hasta 20 por ciento del PIB mundial cada año (Stern, 2007).

En el estudio realizado para el caso de México (Galindo, 2010) muestra que los costos totales derivados del cambio climático hacia el 2100, con una tasa de descuento del 4%, serán de alrededor del 6.2% del PIB y podrían llegar hasta un 30% del PIB con una tasa de descuento del 0.5% (Galindo, 2010). Estos costos no incluyen impactos adicionales estimados, tales como actividades pecuarias y eventos extremos, los costos fuera del

[1] Siglas en ingles del International Panel for Climate Change.
[2] Es la unidad de medición usada para indicar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero, en comparación con el dióxido de carbono.
[3] Es incluso probable un aumento de la temperatura adicional de entre 0.5 y 1 grados a consecuencia de las emisiones pasadas (pipeline) Wigley (2005) y Meehl *et. al*. (2005).
[4] El aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de lluvia reducirá la capacidad de los depósitos de captura de carbono, lo que puede traducirse en un aumento de 1 o 2 grados más de temperatura para el 2100.

mercado en biodiversidad y vidas humanas. La evidencia empírica para América Latina y el Caribe muestran, a nivel agregado, efectos significativos en las economías de la región y crecientes en el tiempo. En efecto, en países templados podría llegar a perderse el equivalente de alrededor del 1% del producto anual durante el presente siglo; estos costos serían superiores en los países andinos, de Centroamérica y el Caribe. Además, en algunos casos, como los que afectan a la biodiversidad o las vidas humanas, habrá consecuencias irreversibles no cuantificables económicamente. Cuán dramático o tolerable sea el balance está íntimamente ligado al escenario de emisiones (Galindo y de Miguel, 2010).

El estudio de meta-análisis de Tol (2009), relaciona los cambios en los niveles de temperatura y los costos del cambio climático en diversas regiones del mundo. Los resultados muestran que podría haber beneficios a nivel global si la temperatura media del planeta aumenta hasta 1.1°C. Más allá de este límite el bienestar global disminuiría. Los impactos más graves podrían presentarse a partir de un aumento de 2.5°C de temperatura, que repercutiría en disminuciones del 2.5% al 5% del PIB mundial. En algunos casos la pérdida de bienestar sería de hasta el 7.5%. No obstante las distintas metodologías, muestran un consenso sobre la tendencia ascendente de los costos esperados ante un aumento de las concentraciones de GEI.

Así, el problema del cambio climático representa un reto global, ya que se requiere de un acuerdo general sobre las trayectorias futuras de las emisiones de GEI. No obstante, también implica una externalidad para la economía global, toda vez que la principal fuente de emisiones de GEI está asociada al consumo de combustibles de origen fósil, que representan el principal insumo en la producción de bienes y servicios a través del consumo de energía (Tol, 2009, Stern, 2006). Es posible identificar canales de transmisión directos, por ejemplo, entre la realización de un conjunto de actividades económicas, la evolución demográfica y las trayectorias actuales de la energía o de las emisiones de gases de efecto invernadero (O'Neill et al., 2003, Perman, et al, 2003 y Yamaji, et al, 1991). Por lo tanto, las emisiones de los GEI muestran una fuerte asociación con las trayectorias del consumo de energía, la población y del PIB en diferentes grados tanto en economías en desarrollo como desarrolladas (Kaya, 1989, O'Neill et al., 2003, Perman, et al. 2003).

En el caso de México, las emisiones totales de GEI pasaron de un nivel 425,268 Gigagramos (Gg) en 1990 en CO_2e a 553,329 Gg en CO_2e 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 el 72% de las emisiones totales y el consumo de combustibles fósiles contribuye, en promedio, con 64% de las emisiones totales (SEMARNAT-INE, 2006a).

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 previsibles del cambio climático. Es evidente que, el sector energía resulta crucial en la estrategia de mitigación y adaptación, hacia una economía baja en emisiones de GEI.

En este sentido, se requiere contar con una línea base de crecimiento económico para el caso de México que incluya los principales sectores productivos, y sirva de comparativo ante un escenario alternativo que considere distintas medidas de política pública, orientadas a reducir el consumo de energía, sin afectar el crecimiento de la economía y permitan cumplir con las metas de reducción de emisiones de GEI. El presente estudio tiene como objetivo principal presentar los escenarios de crecimiento económico para la economía mexicana considerando el periodo de 2011 a 2050. Es importante aclarar que estos escenarios representan un ejercicio de prospectiva con el objetivo de que sirvan de base para la construcción de una estrategia nacional orientada a transformar la economía mexicana baja en emisiones de GEI.

3. Consumo de energía una perspectiva mundial

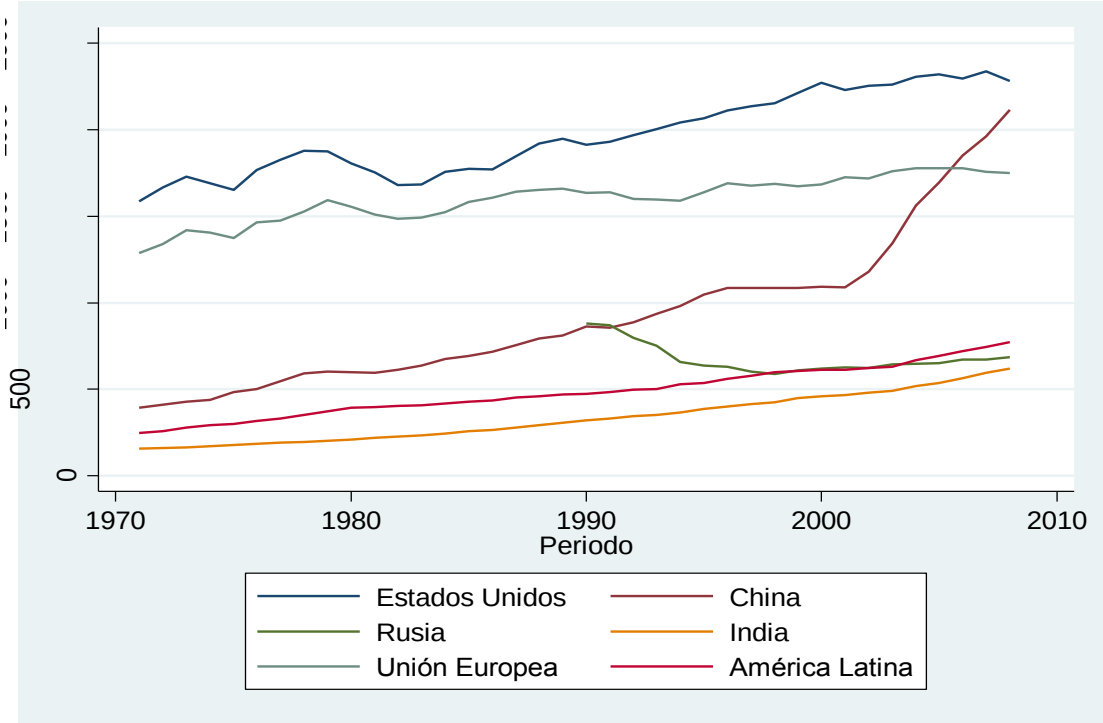
La evolución de la economía mundial está estrechamente asociada al consumo de energía y en particular al consumo de combustibles de origen fósil, principalmente el petróleo. Siendo la energía un elemento clave para el desarrollo económico, constituye una variable decisiva para la generación de crecimiento económico y empleo. Las importantes reservas de petróleo y gas tienen un significativo papel en la generación de riqueza para las economías, por lo que requieren un suministro eficiente, incorporando los menores costos posibles para permitir el crecimiento de los diferentes sectores productivos, posibilitando de esta manera mayores mejoras en las condiciones de vida para el conjunto de la sociedad. En el periodo de 1971 a 2008 el consumo de energía a nivel mundial[5] creció a una tasa promedio anual de 2.1%.

El 81% de los combustibles utilizados en la generación de la energía es de origen fósil, es decir, que la estructura de la demanda de combustibles está asociada a las emisiones de GEI[6]. Con base en información de la Agencia Internacional de Energía de 2008 solo 4 países concentran el 48.6% del consumo total de energía a nivel mundial: Estados Unidos con el 19.5%, China 18.0%, Rusia 5.9% e India el 5.3%, y como se observa en la Gráfica 1, China muestra un cambio en su tendencia a partir del año 2002 indicando un acelerado crecimiento en el consumo de energía, de hecho en el periodo del año 2000 a 2008 el consumo de energía en este país, creció a una tasa de 8.6% anual. La India también mostró un acelerado crecimiento del orden de 3.8% anual, en tanto que América Latina registra un aumento de 2.9% anual.

[5] La fuente de los datos corresponde a International Energy Agency (http://www.iea.org/stats/index.asp)

[6] Las emisiones de gases de efecto invernadero se expresan en CO2 equivalente utilizando los potenciales de calentamiento en 100 años que se encuentran en el segundo informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 1995). Los gases de efecto invernadero incluidos son: dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y oxido nitroso (N2O). A estos se suman los gases con alto potencial de calentamiento: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6).

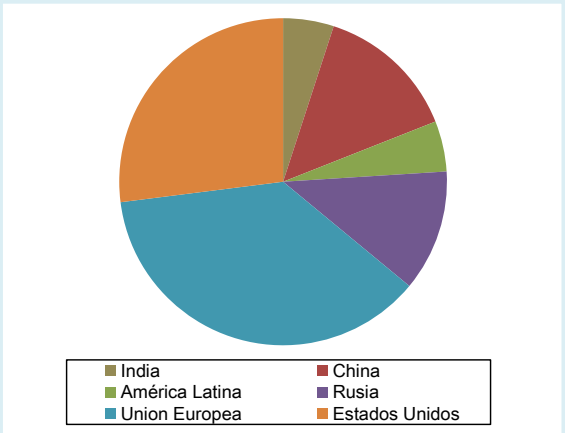
Gráfica 1
Evolución del consumo mundial de energía
(miles de kt equivalente en petróleo)



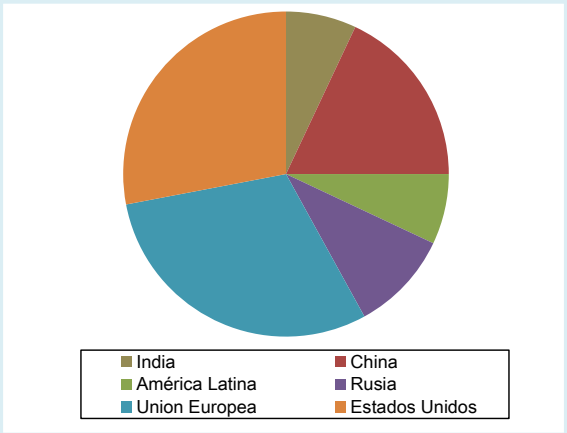
Fuente: Con base en información de International Energy Agency

Gráfica 2
Distribución del consumo mundial de energía principales consumidores

Año de 1990



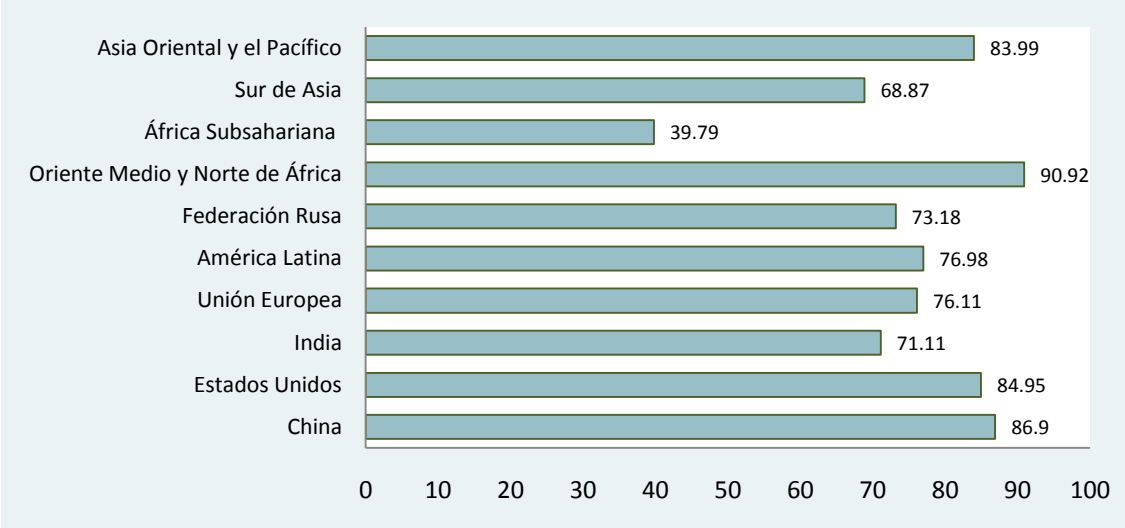
Año 2008



Fuente: Con base en información de International Energy Agency

Es decir, en las últimas tres décadas los países emergentes muestran una expansión importante en los niveles de consumo de energía, de hecho este insumo de la producción se ha convertido en una materia prima hegemónica y fundamental para el funcionamiento de las economías, y muestra una alta correlación, tanto en niveles como en tasas de crecimiento, con el crecimiento de las economías. En este sentido, existe una fuerte asociación entre los niveles de producción, generación y consumo de energía y, por consiguiente, con el nivel de empleo y en los niveles de emisión de GEI (Dinda, Coondoo y Pal, 2000).

Gráfica 3
Porcentaje de uso de combustibles de origen fósil en la generación de energía



Fuente: Con base en información de International Energy Agency

China se ha posicionado como el segundo consumidor de energía y su principal fuente de combustible es de origen fósil como lo es el carbón. En general, se observa que a nivel mundial el principal combustible es de origen fósil (Gráfica 3), con excepción de la región de África Subsahariana[7], donde la participación de combustible de origen fósil en el total de combustibles para energía es de 40%; el resto de las regiones del mundo muestran un elevado uso de este tipo de combustibles en la generación de energía. En efecto las tres

[7] Este bajo porcentaje se explica por el escaso acceso de la región a energía comercial asequible, como consecuencia del bajo nivel de desarrollo e industrialización.

cuartas partes de la energía que se utiliza en el mundo se genera mediante combustibles fósiles, es decir, de fuentes de energía no renovables y en consecuencia se genera un mayor impacto en las emisiones de los GEI, que se traduce en cambios en la temperatura media superficial del planeta.

Esta situación, hace indispensable una acción colectiva basada en un acuerdo internacional con responsabilidades comunes pero diferenciadas. No obstante la importancia de este acuerdo internacional, este sólo será posible si actualmente se identifican las opciones más probables y sus implicaciones en términos de trayectorias de mitigación. De acuerdo con Schrattenholzer, Miketa, Riahi y Roherl, (2007), si a nivel mundial se proyecta en el largo plazo un crecimiento económico de 3%, bajo las condiciones actuales, implicará un aumento de las emisiones a un ritmo de 2% anual. Ello sugiere un proceso de descarbonización mundial esperado de 1% anual. Por su parte, la tasa de crecimiento poblacional se ha reducido a nivel mundial de un máximo de 2.1% a finales de la década de los sesenta a una tasa de 1.5% actualmente (O' Neill, 2003). Esta reducción se asocia a la correlación negativa entre la tasa de crecimiento de la población y el ingreso per cápita (Kelley y Schmidt, 1996, O'Neill, 2003). De este modo, las emisiones crecerán en las próximas décadas a una tasa superior que el crecimiento poblacional sugiriendo que su comportamiento se asocia también a otros factores y que por lo tanto no puede esperarse una estabilización de las emisiones sólo como consecuencia de una estabilización de la población mundial.

Es necesario concertar una acción internacional conjunta para desacoplar el crecimiento económico y el consumo de energía de la evolución de las emisiones. Esto es, el acuerdo internacional para estabilizar las emisiones no puede implicar una reducción significativa en las tasas de crecimiento económico y en el consumo de energía o limitar el acceso a las fuentes de energía. Ello sólo es posible modificando los actuales patrones de crecimiento económico a una senda baja en carbono, que implica una tasa de descarbonización[8] superior a la tasa media histórica.

[8] Es una tasa de disminución de las emisiones por unidad de PCA

Sin embargo las perspectivas a mediano plazo (2035), no muestran cambios significativos en las trayectorias del consumo de energía a nivel mundial. En el documento **World Energy Outlook 2010** de la Agencia Internacional de Energía (OECD/IEA, 2010), se destaca la necesidad de una estrategia a nivel internacional para avanzar en la disminución de subsidios al consumo de energía, de forma paulatina y a mediano plazo, ya que estos subsidios[9] son ineficientes y generan un mayor consumo de los combustibles fósiles, además de que distorsionan los mercados, puesto que pueden impedir la inversión en fuentes de energía limpia y limitar los esfuerzos por hacer frente al Cambio Climático.

La metodología utilizada en World Energy Outlook 2010

Utiliza proyecciones de largo plazo para la demanda y oferta de energía por sector y región y se considera como periodo de proyección de 2009 a 2035. Se realiza un enfoque de largo, corto y mediano plazo, siendo estos últimos los de mayor incertidumbre en las perspectivas de precios de la energía, el tamaño de los recursos energéticos y su costo. De igual manera considerando mayor incertidumbre para las perspectivas que se tienen con las nuevas tecnologías en el largo plazo. Muestra optimismo ante las políticas emprendidas por los países a partir de las metas del acuerdo de Copenhague, considerando un objetivo común bajar el aumento de la temperatura mundial a dos grados centígrados (2°C) y a destinar fondos para mitigación del Cambio Climático (CC) y la adaptación de los países en desarrollo de $100 mil millones por año para el 2020. Se consideran los siguientes escenarios:

- ***El escenario de referencia***. Un rápido crecimiento de los precios del petróleo. Los subsidios a los combustibles fósiles son eliminados por completos en los países que ya cuentan con políticas para hacerlo.

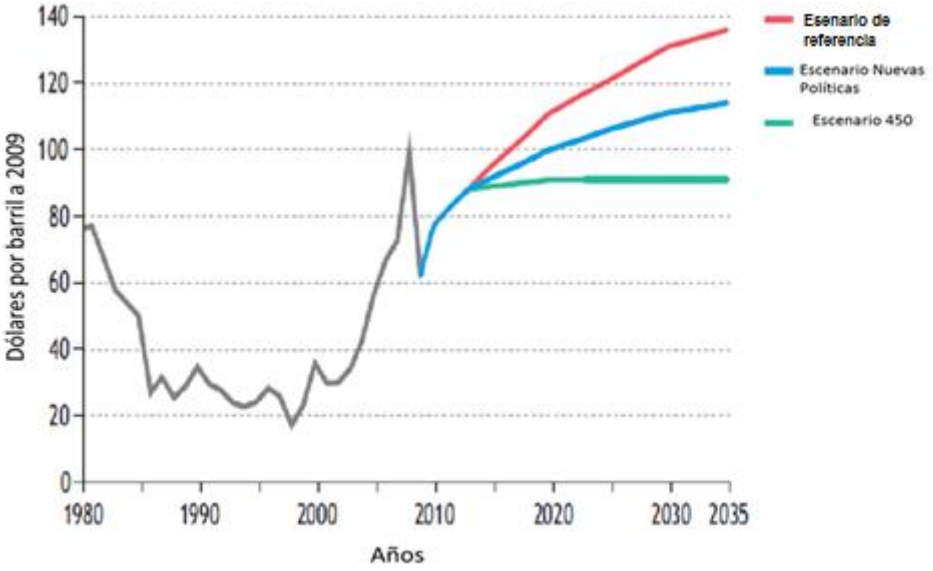
- ***El escenario de nuevas políticas***, presenta de manera cautelosa la aplicación de las políticas y compromisos generales para reducir las emisiones GEI para el 2020 a partir de unas reformas de subsidios a los combustibles fósiles. Un aumento paulatino de los precios del petróleo

- ***El escenario de 450***, supone la aplicación la eliminación universal del consumo de combustibles fósiles, y las acciones para lograr el objetivo de limitar la concentración de gases en la atmosfera a 450 partes por millón de CO2eq.

[9] Los subsidios, son un resultado ineficiente de los recursos y distorsiones en el mercado, por no cumplir sus objetivos, propiciando el consumo derrochador. El subsidio al consumo en todo el mundo ascendieron a 312 mil millones en el 2009, dando distorsiones en el mercado a través de sus precios.

En la construcción de escenarios prospectivos a nivel mundial sobre la demanda de energía, los precios de los combustibles, así como la tecnología utilizada, son variables relevantes a considerar. En el documento **World Energy Outlook 2010,** el nivel de precios necesarios para adecuar la oferta del petróleo y la demanda, varía según el grado de esfuerzo político para frenar el crecimiento de la demanda dada la diferencia notable en los tres escenarios. En la Figura 1, se presenta la evolución promedio de los precios internacionales del petróleo crudo, se aprecia que bajo un escenario inercial, los precios seguirán aumentando hasta ubicarse en 135 dólares por barril, solo bajo un escenario de estabilización de emisiones, cambio tecnológico y un lento aumento en el nivel de precios se logrará una estabilización en el 2020 en 90 dólares por barril.

Figura 1.
Prospectiva en la evolución de los precios internacionales del petróleo en tres escenarios

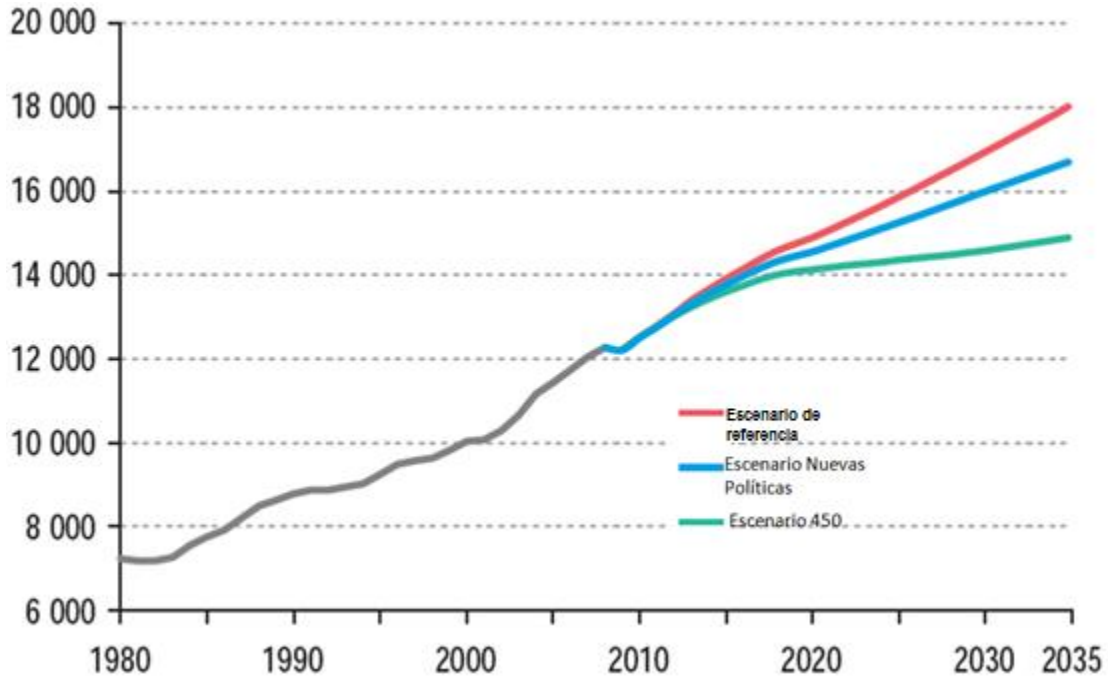


Fuente: World Energy Outlook 2010

Asimismo, se plantean supuestos sobre crecimiento de la población. En este caso el estudio no hace diferencia en ninguno de los tres casos, estimando que la población mundial tendrá una tasa de crecimiento media anual de 1%, para ubicarse en 8.5 mil millones de personas en 2035. El crecimiento de la economía mundial se proyecta en 3.2% anual en el periodo de 2008 a 2035, siendo los países emergentes los que podrían registrar tasas superiores a esta

tasa promedio. La figura 2, presenta la trayectoria del consumo de energía asociado a los tres escenarios propuestos en **World Energy Outlook 2010**. Bajo el escenario de *referencia* la demanda crecerá a una tasa del orden de 1.44% anual entre 2008 a 2035, es decir, esta tendencia es el escenario con mayor probabilidad dada las condiciones actuales de la economía mundial y la estructura de la matriz energética de las principales economías del planeta.

Figura 2.
Escenarios de la demanda mundial de energía
(Millones de toneladas en petróleo equivalente)



Fuente: World Energy Outlook 2010

La demanda global de energía primaria continua creciendo en el *escenario de políticas nuevas*, pero a un ritmo más lento de 1.16% anual en el periodo de referencia. Así en el año de 2035 el consumo de energía representaría un 36% superior al nivel observado en 2008. El resultado para el *escenario 450*, la tasa de crecimiento promedio anual se podría ubicar en 0.73% anual. Esta menor demanda también implicaría un cambio en la matriz energética orientado hacia fuentes renovables de energía. Se podría esperar un aumento en la demanda del gas natural, motivado por su característica ambiental, se espere que para el año 2035 se

registre un incremento del 80% de la demanda de electricidad, que va a requerir 5900 GW[10] adicionales de la capacidad total actual. Si bien las proyecciones de la demanda y suministro de energía varían entre los tres escenarios, en todos los casos los combustibles fósiles seguirán siendo la fuente dominante para generar la energía, a pesar de que su participación se mezcla con otros combustibles primarios.

3.1 Intensidad energética un comparativo internacional

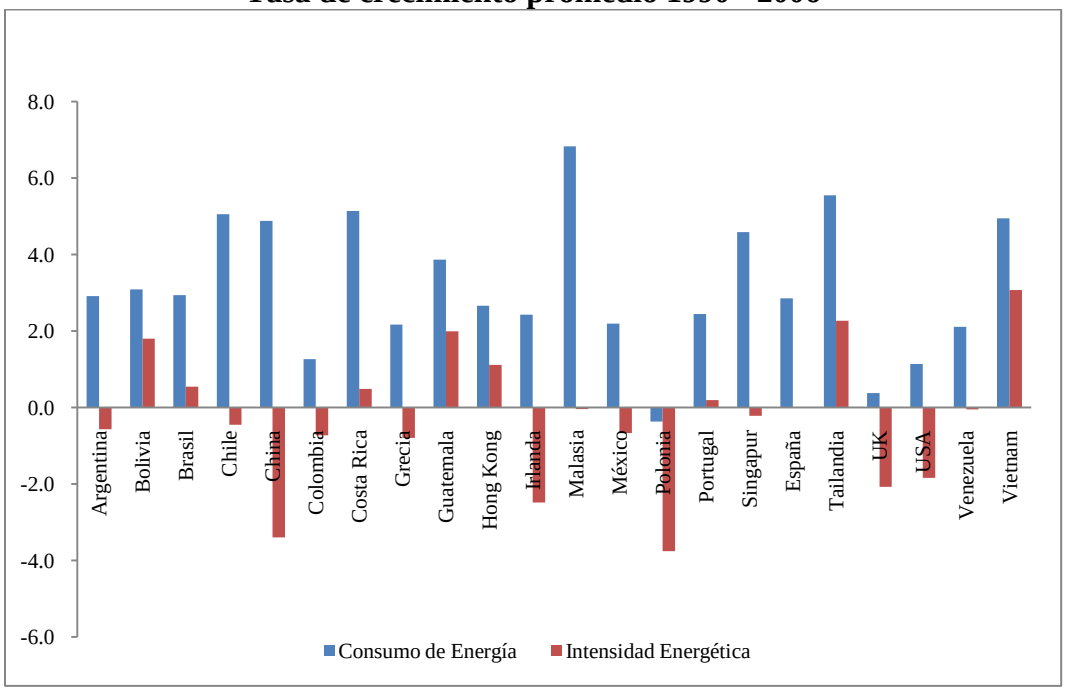
La intensidad energética es un indicador global del uso final de la energía, al considerar la energía utilizada respecto a una variable que mide la actividad económica se puede aproximar a la eficiencia en el uso de energía, toda vez que mide cuantas unidades de energía se requieren para generar una unidad de producto. No obstante, la intensidad energética cambia en el tiempo y es diferente a nivel país. Diferentes trayectorias de la intensidad energética corresponden a economías y tecnologías diferentes, así como a una matriz energética diferente en términos de un mayor o menor uso de la energía, en los sectores de la economía. En este sentido, el presente apartado muestra un comparativo de la evolución de la intensidad energética de México respecto a un conjunto de países con el propósito de evaluar el nivel de eficiencia en el uso de la energía.

Debido a las diferencias en las unidades de medida tanto del PIB como de la energía se considera convertir el PIB de cada país a dólares de Estados Unidos a precios de 2000, utilizando un tipo de cambio de mercado (MER) de moneda local respecto a un dólar de Estados Unidos, y el uso final de energía medido en megajulios (MJ). Esta medida de la intensidad es la mejor aproximación al cociente de consumo nacional de energía respecto al PIB utilizado en el presente trabajo. La información estadística se obtuvo de la Agencia Internacional de Energía (AIE) y del Banco Mundial (BM). La Figura 3, se presentan las tasas de crecimiento promedio del consumo de energía y la intensidad energética para el periodo de 1990 a 2006, para un grupo de 22 países de distintas regiones del mundo y

[10] El sector de energía (incluye generación de calor y electricidad) representa el 53 por ciento de la demanda global de energía primaria en el 2008-2035

cuyas economías tienen una estructura diferente. Con excepción de Polonia, el resto de los países muestran un aumento en la demanda de energía, destaca Malasia con una tasa promedio de 6.8% anual, el promedio de los 22 países es de 3.14% para todo el periodo, México se ubica por debajo del promedio con una tasa de 2.2% anual.

Figura 3,
Consumo de energía e intensidad energética.
Tasa de crecimiento promedio 1990 - 2006

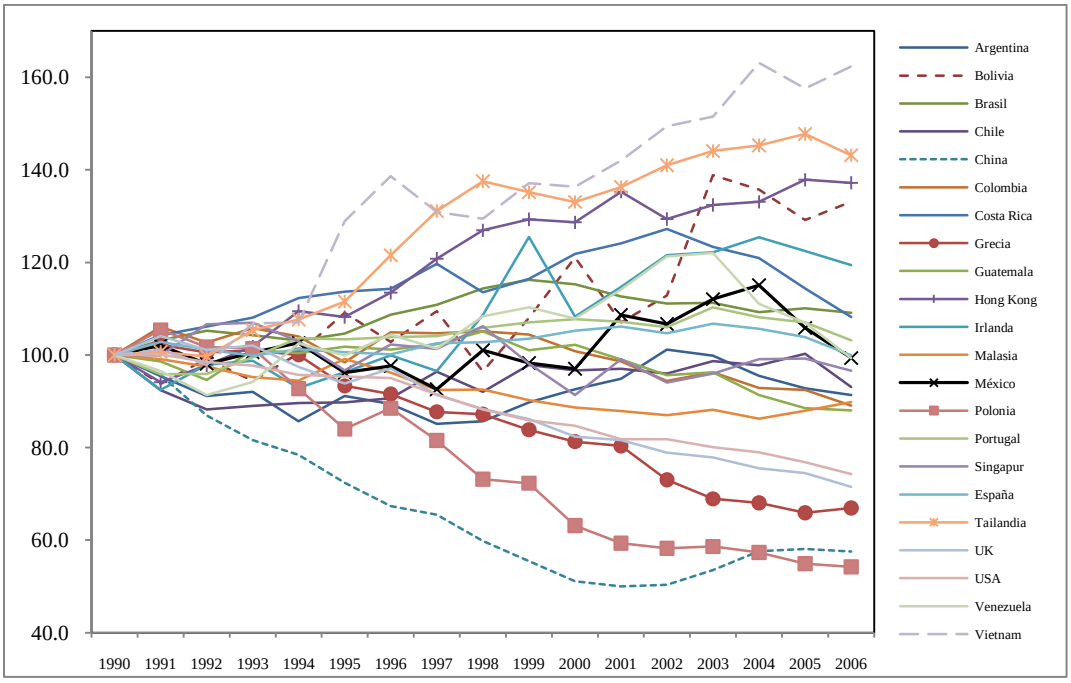


Fuente: Con base en información de la Agencia Internacional de Energía (IEA)

En la misma Figura 3, se reporta la tasa de crecimiento promedio de la intensidad energética y se pueden identificar tres grupos: el primero, caracterizado por aquellos que registran un descenso importante en la intensidad energética en el cual se ubican Polonia, China, Irlanda, Reino Unido y Estados Unidos, que muestran una mayor eficiencia en el uso de la energía. El segundo grupo es de aquellos que no han modificado de manera importante la trayectoria de la intensidad energética en el periodo 1990 a 2006, y la tasa de crecimiento en estos países fluctúa en alrededor de -1% a 1% (Grecia, Colombia, México Argentina, Chile, Singapur, Venezuela, Malasia, España, Portugal, Costa Rica y Brasil). El

tercer grupo, registran un aumento en la intensidad energética, indicando una pérdida de eficiencia, es decir cada vez se requieren más unidades de energía para generar una unidad de producto (Hong Kong, Bolivia, Guatemala, Tailandia y Vietnam).

Figura 4. Intensidad energética (Índice 1990=100)



Fuente: Con base en información de la Agencia Internacional de Energía (IEA)

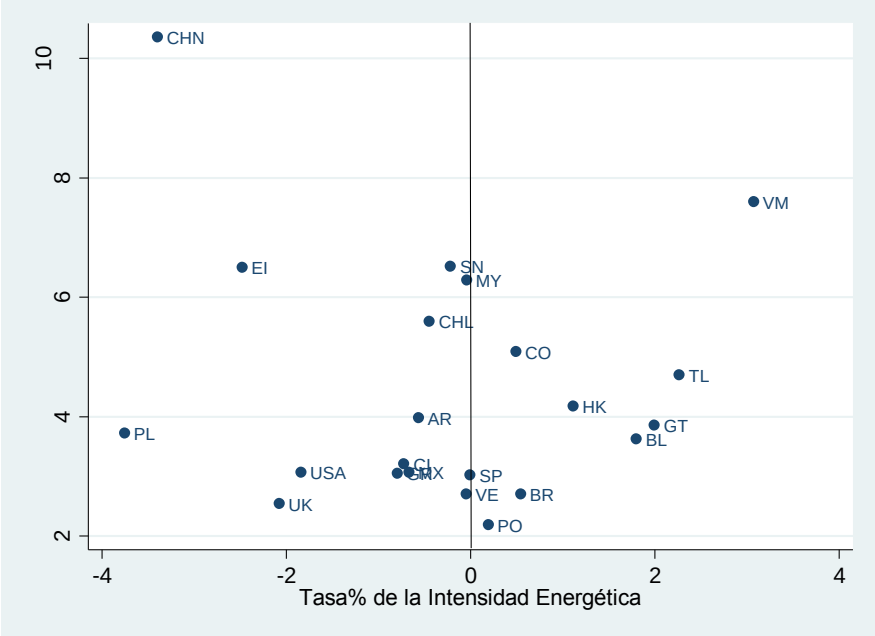
En la Figura 4, se presentan las trayectorias de las intensidades energéticas, la evolución de las series indique la eficiencia en el uso de la energía por unidad de producto, en este caso los países que muestran un índice con un valor inferior a 100, indica que la economía tiende a ser más eficiente por el contrario un valor superior a 100 señala que la economía es menos eficiente en el uso de energía. Países como China, Polonia y Grecia muestra un aumento en la eficiencia en contraste Vietnam, Tailandia, Hong Kong y Bolivia, han perdido eficiencia. En el caso de la economía mexicana su trayectoria se mantuvo relativamente estable durante la década de los noventa, pero a partir del año 2000 muestra una tendencia ascendente, si bien regresa a su valor inicial al final del periodo de análisis (2006), en los últimos 4 años se ha registrado un nuevo repunte en el índice de la intensidad energética indicando una pérdida de eficiencia y en comparación a otros países con una estructura similar y que también se ubican en un rango de ingreso per cápita muy similar,

como es el caso de las economías de Malasia, Polonia, Portugal y Colombia que han registrado un fuerte proceso de reducción en la intensidad energética en la última década. Esto indicaría que en estas economías se ha logrado desacoplar las trayectorias del PIB y el Consumo de Energía, mediante el uso de energías renovables o nuevas tecnologías que permiten reducir el consumo de energía por unidad de producto.

La relación entre la tasa de crecimiento del PIB y la tasa de crecimiento de la intensidad energética (Figura 5), hacia los valores negativos de la tasa de la intensidad energética se ubican los países que han logrado desacoplar las trayectorias del PIB y de la Energía, en contraste hacia el cuadrante con valores positivos se ubican los países que mantienen una alta correlación entre ambas variables, y para generar una unidad de producto requieren cada vez más unidades de energía. Un patrón similar se observa al relacionar entre las tasas de crecimiento de de las emisiones per cápita de CO2 y la intensidad energética, destacan países como Polonia, Reino Unido, Estados Unidos y Colombia que han logrado reducir la intensidad energética, sin afectar el crecimiento del PIB y a su vez registran un descenso en las emisiones per cápita de CO2. Por su parte China, Irlanda, Chile, Argentina y Grecia mantienen una tendencia descendente en la intensidad energética, y su crecimiento en el PIB es positivo, sus emisiones per cápita se mantienen en ascenso, en cierto sentido estas economías han logrado un uso más eficiente de la energía pero el ritmo de crecimiento del PIB ha llevado a un incremento de las emisiones, indicando en algún sentido que este grupo de países han optado por un mayor crecimiento económico sin considerar los impactos en las emisiones. En el caso de México, las variaciones en la intensidad y las emisiones per cápita se han estancado, pero el crecimiento en el PIB es bastante bajo, indicando la necesidad de avanzar en políticas públicas que logren una mayor eficiencia en el uso de energía y se impulse el crecimiento, sin afectar los impactos en emisiones de los GEI.

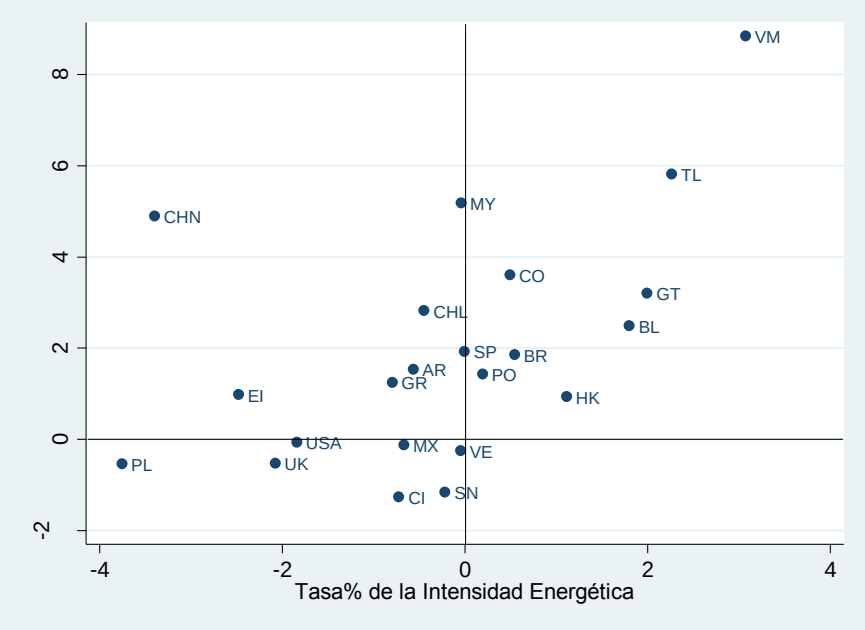
Las diferencias a nivel regional hacen suponer que los procesos de mitigación van a responder a mejoras en la eficiencia de los procesos productivos, la absorción de mejores tecnologías, la venta de reducción de emisiones y la reducción de externalidades ambientales locales. En el marco de iniciativas individuales dado las diferencias en la estructura de la matriz energética y objetivos de crecimiento.

Figura 5. Tasa de crecimiento promedio anual 1990-2006
PIB vs Intensidad Energética



Fuente: Con base en información de la Agencia Internacional de Energía (IEA)

Figura 6. Tasa de crecimiento promedio anual 1990-2006
Emisiones de CO2 per cápita vs Intensidad Energética



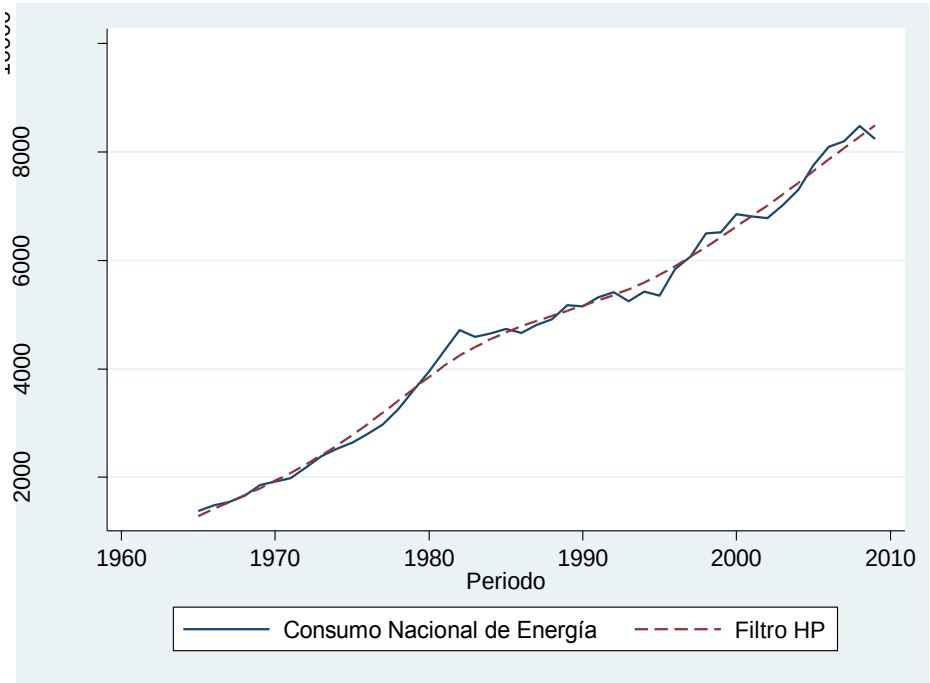
Fuente: Con base en información de la Agencia Internacional de Energía (IEA)

Nota: AR = Argentina, BL= Bolivia, BR = Brasil, CHL = Chile, CHN = China, CI = Colombia, CO = Costa Rica, GR = Grecia, GT = Guatemala, HK = Hong Kong, EI = Irlanda, MY = Malasia, MX = México, PL = Polonia, PO = Portugal, SN = Singapur, SP = España, TL = Tailandia, UK = Reino Unido, USA = Estados Unidos, VE = Venezuela y VM = Vietnam

4. Consumo de energía en México

El consumo de energía puede considerarse como una función de diversos factores, en donde destacan la trayectoria del producto y de su composición estructural, del progreso técnico, de la evolución de los precios relativos e incluso del estilo de vida o preferencias de los agentes económicos (Jorgerson y Wilcoxen, 1993, Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y Jorgenson, 1998). Sin embargo, es posible identificar algunas tendencias fundamentales en el consumo de energía en México a través de analizar su evolución en el tiempo. La Gráfica 4 muestra una clara tendencia ascendente del consumo de energía considerando el periodo de 1965 a 2009. La tasa de crecimiento promedio anual es de 4.1% anual, pero también se observa un cambio en la tendencia hacia finales de los 70s, es decir, durante 1970 a 1979 se registra un acelerado crecimiento de la demanda de energía 7.3%, indicando un cambio estructural en la trayectoria de la serie.

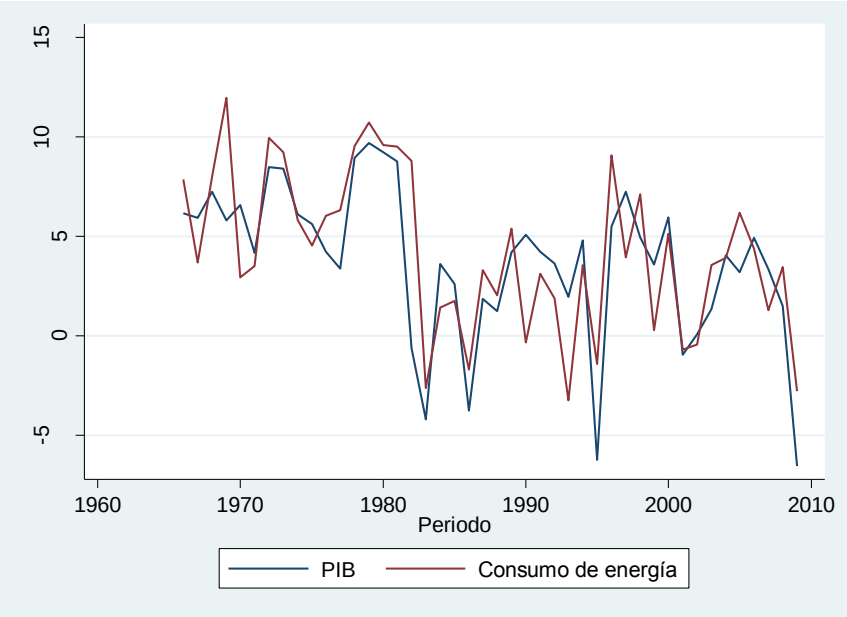
Gráfica 4
Consumo de energía en México



Fuente: Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx)

En la década de los ochenta el consumo de energía muestra aún un fuerte crecimiento, a una tasa promedio anual de 3%, y en los últimos diez años la se ha mantenido en 2.06%. Esto indica que la demanda de energía en el caso de México es ligeramente inferior al promedio[11] de América Latina. Por otra parte, el consumo de energía muestra una alta correlación con la dinámica de crecimiento de la actividad económica, como se aprecia en la Gráfica 5. Las elevadas tasas de crecimiento del consumo de energía registradas en las décadas de los sesenta y setenta corresponden a una etapa de desarrollo industrial. Cuando el crecimiento potencial de la economía se reduce las variaciones en el consumo de energía muestra la misma tendencia.

Gráfica 5
Tasas de crecimiento del consumo de energía y del PIB en México



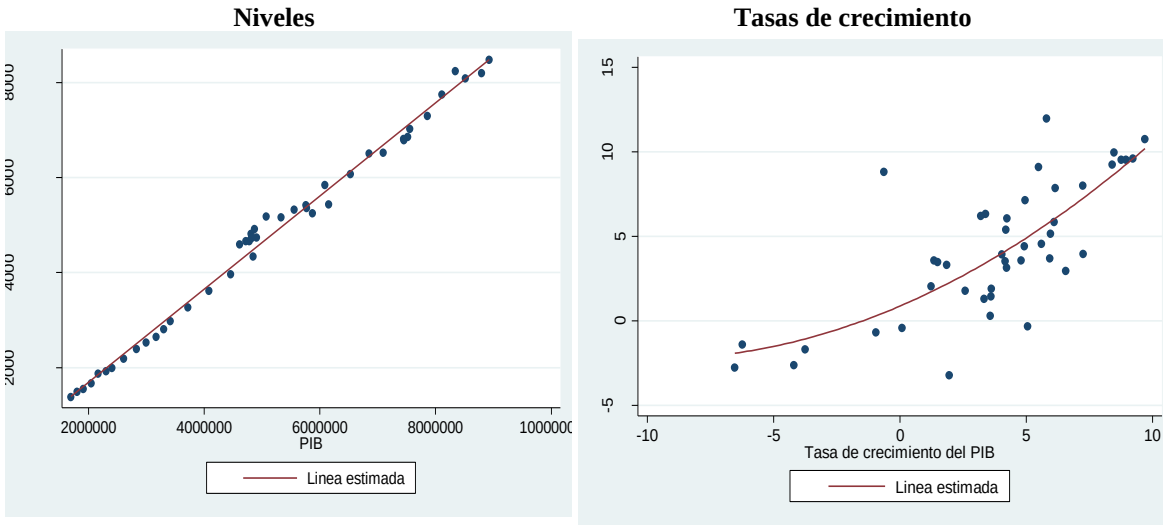
Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

En México existe un debate intenso sobre las relaciones que se establecen entre crecimiento económico y consumo de energía, y de sus implicaciones en términos de un desarrollo sustentable nacional atendiendo a los compromisos internacionales que se deben establecer en términos de cambio climático en México. En efecto, por la importancia del sector

[11] América Latina muestra un crecimiento de 2.9% anual de 2000 a 2008.

petrolero y los altos niveles de consumo energético y sus consecuencias negativas sobre el medio ambiente en Mexico se presentan intensas discusiones sobre las posibles trayectorias y alternativas para controlar y racionalizar el consumo de energía. En la Gráfica 5 se presenta la relación entre el consumo de energía y el crecimeinto de la economía, aproximado por el PIB. En el largo plazo muestran una relación directa entre tasas de crecimeinto y se aprecia que cuando se acelera la economía se registra un mayor crecimeinto en la demanda de energía, por lo tanto la energía es un componente crucial en el crecimiento, directa o indirectamente, como complemento del capital y el trabajo como un insumo relevante de la producción.

Gráfica 6
Diagrama de disperción consumo de energía y PIB



Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

En la investigación de Galindo y Sánchez (2005), se realiza una análisis de causalidad en el sentido de Granger entre el consumo de energía y el PIB. Sus resultados muetran que ambas variables son complementarias, esto es la expansión del producto va acompañada de un aumenteo en el consumo de energía. Por ello los programas orientados a regular el consumo de energía, pueden tener consecuencias negativas sobre la actividad económica y el empleo, debido a esta estracha relación entre las variables. En este contexto es relavante

considerar los escenarios prospectivos sobre el consumo de energía bajo las condiciones actuales de la economía y los supuestos de crecimeinto del PIB.

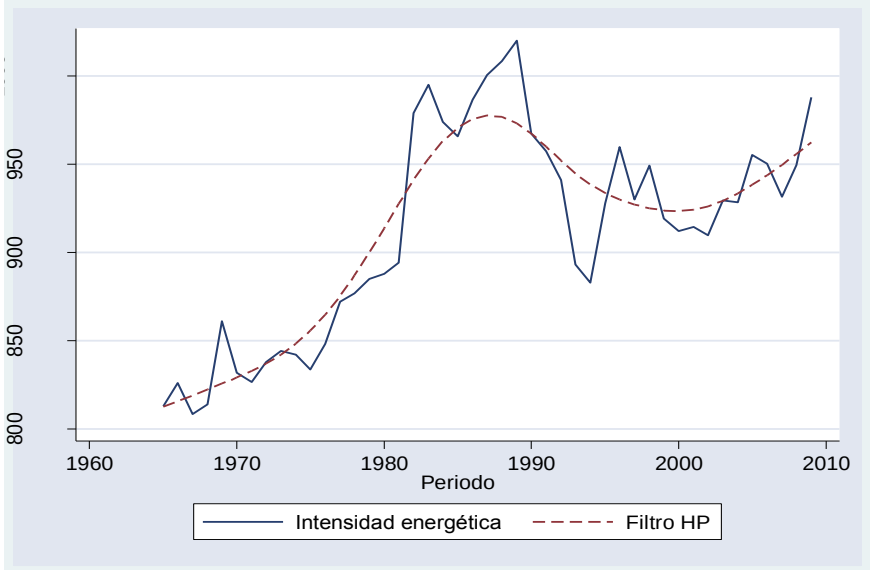
En cierto sentido esta evolución de la energía y el PIB es evidencia de que la economía mexicana se ha hecho más intensiva en el uso de la energía como insumo en el patrón de crecimeinto económico. En efecto, la intensidad energética, aproximada como la relación entre consumo de energía y producto, indica las unidades de energía que se necesitan para generar una unidad de producto. Su evolución permite evaluar posibles trayectorias energéticas incluyendo, por ejemplo, los efectos de los precios relativos de la energía o las condiciones de sustituibilidad o complementariedad de la energía con respecto a otros insumos productivos tales como el empleo. En la Gráfica 7, se muestra la evolución del indicador de intensidad energética en el periodo de 1965 a 2009, medida en miles de Joules que se requieren para generar un peso a precios de 2003. Esto es, el indicador muestra la cantidad de energía que es necesario utilizar para que en la economía se pueda crear el equivalente a un peso del valor del PIB.

Se aprecia claramente que desde el año de 1975 a 1989 la intensidad energética aceleró su crecimiento a un ritmo de 1.5% anual, es decir, en ese período la economía mexicana era hasta cierto punto ineficiente en el uso de la energía, debido a que cada año se requería aumentar más los niveles de energía para producir una unidad de producto y en consecuencia también las emisiones asociadas a este consumo de energía debieron haber aumentado. Pero la década de los noventa muestra una disminución en el indicador, lo que significa que los requerimientos energéticos por unidad de producto disminuyeron. Este comportamiento está asociado a la evolución de los precios relativos de los combustibles, a cambios en la composición del producto y al proceso de desacoplamiento energético apoyado en la innovación tecnológica. En efecto, la tasa de crecimiento de la intensidad energética en los últimos veinte años se ubicó en 0.11% anual, y prácticamente se ha mantenido relativamente constante, pero en los últimos tres años muestra un repunte. Actualmente (2009), la intensidad energética oscila en alrededor 987 mil joules por unidad de producto. Para ejemplificar esta cifra podemos considerar que para generar una unidad de PIB en México se requieren de 274 Watt-hora (Wh) de energía, lo que equivale a

mantener encendidos 274 focos de 100 watts por 10 horas, lo cual muestra que aun es necesario avanzar en lograr una reducción en los niveles de consumo de energía con el fin de lograr un uso más eficiente sin afectar la senda de crecimiento de la economía mexicana.

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 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.

Gráfica 7
Intensidad energética
(miles de joules por peso)



Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

En particular, desde el punto de vista ambiental destacan dos efectos negativos de los niveles actuales de consumo enrgético: en primer lugar, la oferta actual de energía en México se basa, en su mayoría, en el uso de recursos no renovables, como el petróleo, y en segundo lugar, las emisiones a la atmósfera asociadas al consumo de energía tienen consecuencias negativas tales como la contaminación atmosférica y la emisión de gases de

efecto invernadero asociados al cambio climático, que inciden sobre la salud de la población y la sustentabilidad de los ecosistemas.

4.1 Análisis sectorial

En el Cuadro 1, se reportan las tasas de crecimiento promedio anual del consumo de energía por sectores, considerados en distintos periodos. Entre 1965 a 1970 la demanda se explica por la presión en el uso de la energía por parte de sectores de la industria, el transporte y el comercio. En la década de los setenta se agrega el dinamismo del sector agropecuario y la acelerada expansión del transporte, en la década de los 80s la crisis estructural y la contracción del sector público genero que distintos sectores reportaran una fuerte disminución en la demanda de energía, en la última década la demanda de energía registró un crecimiento promedio anual de 2.4%, explicada básicamente por el sector transporte (4.1%) y las industrias energéticas (2.2%), de hecho entre el año 2000 y 2010 el parque vehicular de autos particulares del país se duplico al pasar de 15 millones de unidades a 30 millones, indicando la fuerte presión sobre los combustibles de origen fósil.

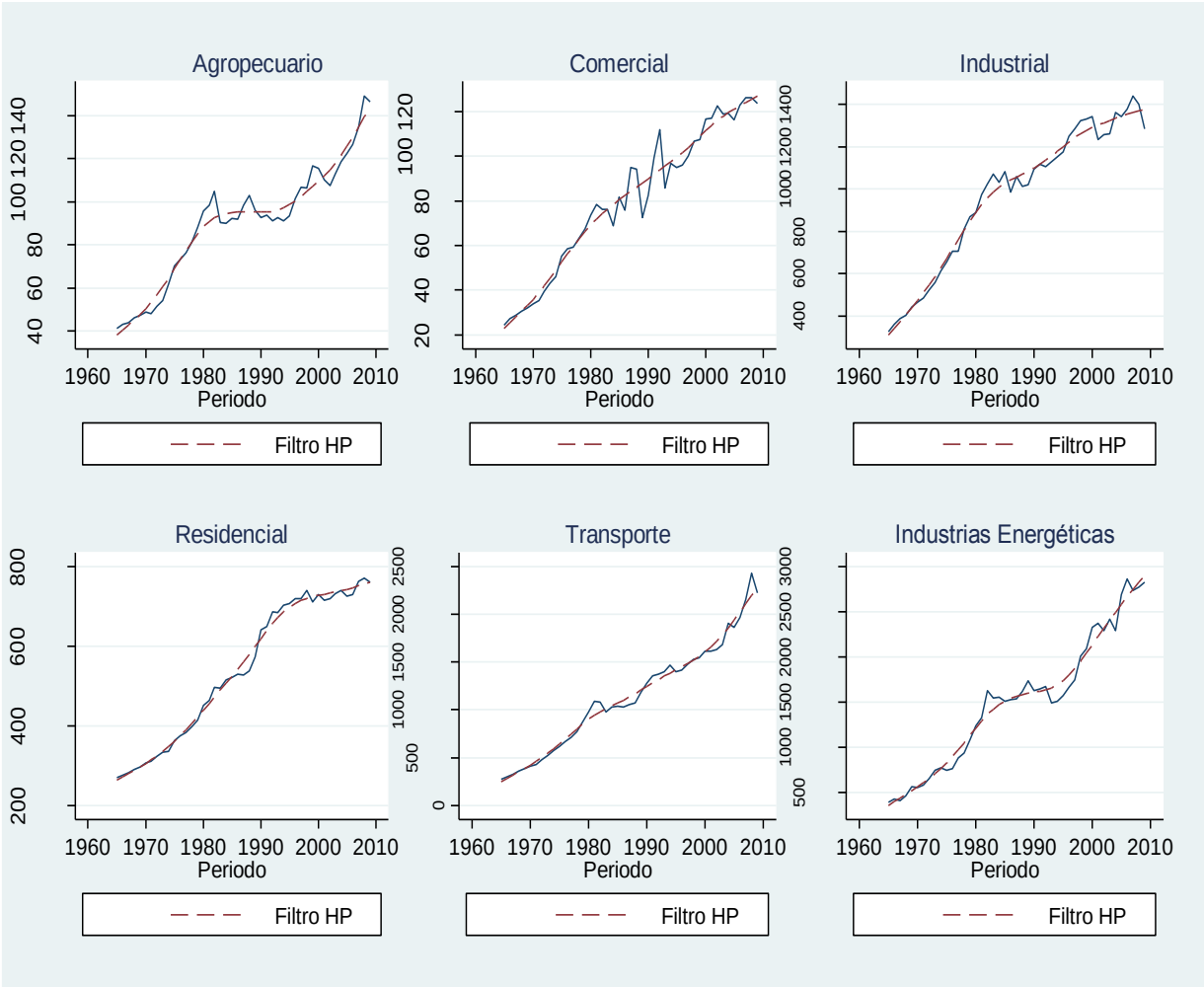
Cuadro 1
Tasas de crecimiento del consumo de energía por sectores

Sectores	**1965 2009**	**1965 1970**	**1971 1980**	**1981 1990**	**1991 2000**	**2001 2009**
Nacional	4.1	6.8	8.4	1.9	2.9	2.4
Agropecuario	2.9	3.4	7.8	-0.7	2.3	3.6
Industrial	3.2	7.4	7.4	1.3	2.0	0.5
Comercial	3.8	6.8	9.0	0.6	1.8	0.7
Transporte	4.9	8.3	10.2	1.7	1.9	4.1
Residencial	2.4	2.6	4.4	3.7	1.3	0.8
Industrias energéticas	4.5	7.1	9.2	2.2	3.9	2.2

Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

La Gráfica 8 presenta las trayectorias del consumo de energía por sectores de 1965 a 2009. Todos los sectores muestran un acelerado crecimiento en los requerimientos de energía, sobre todo en el periodo de 1965 a 1980 (Cuadro 1). Las trayectorias de los distintos sectores muestran un punto de inflexión hacia finales de la década de los ochenta donde el consumo de energía cambia su tendencia hacia un menor ritmo de crecimiento. Este patrón puede estar asociado al hecho de que la trayectoria del consumo de energía está altamente correlacionada con la evolución de la producción, así cuando se reduce el potencial de crecimiento de la economía las tasas de crecimiento del consumo de energía por sectores registra un menor crecimiento.

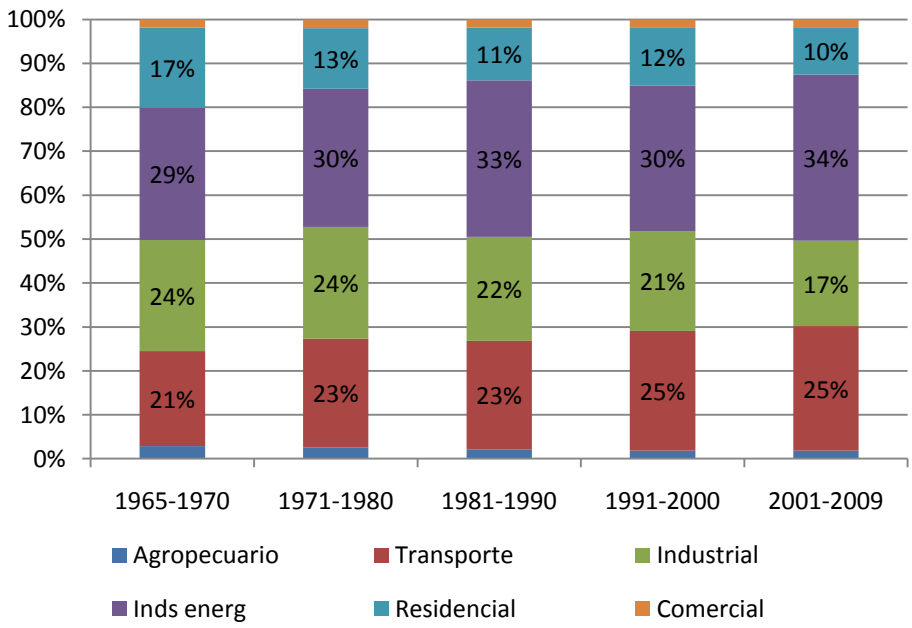
Gráfica 8
Evolución del consumo de energía por sectores



Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

Es importante, destacar que el sector transporte, representa aproximadamente el 24% del consumo nacional de energía (Gráfica 9), del cual se estima que aproximadamente el 91% se concentró en el transporte automotor (INE, 2006, pp. 55). En este sector, el principal combustible utilizado fue la gasolina (65%), siendo uno de los principales demandantes el transporte automotriz, por ello el diseño de una estrategia orientada a reducir los niveles de consumo de energía o hacer un uso más eficiente requiere modificar los actúales patrones de consumo del sector transporte.

Gráfica 9
Estructura del consumo de energía por sectores



Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

Por su parte, las industrias energéticas también han registrado un fuerte dinamismo y representan alrededor del 34% del consumo nacional de energía y su contribución se ha mantenido relativamente estable. El sector industrial, es el tercer sector con mayor importancia en el consumo nacional de energía, pero en la última década ha disminuido su participación en el consumo nacional a un nivel de 17%, aunque el comportamiento del consumo de combustibles para todo el sector no tiene una tendencia clara. Se reduce de 1990 a 1995, aumenta ligeramente hasta 1998, se reduce nuevamente hasta 2001 y crece hacia 2006. Este comportamiento está claramente marcado por los cambios en la industria

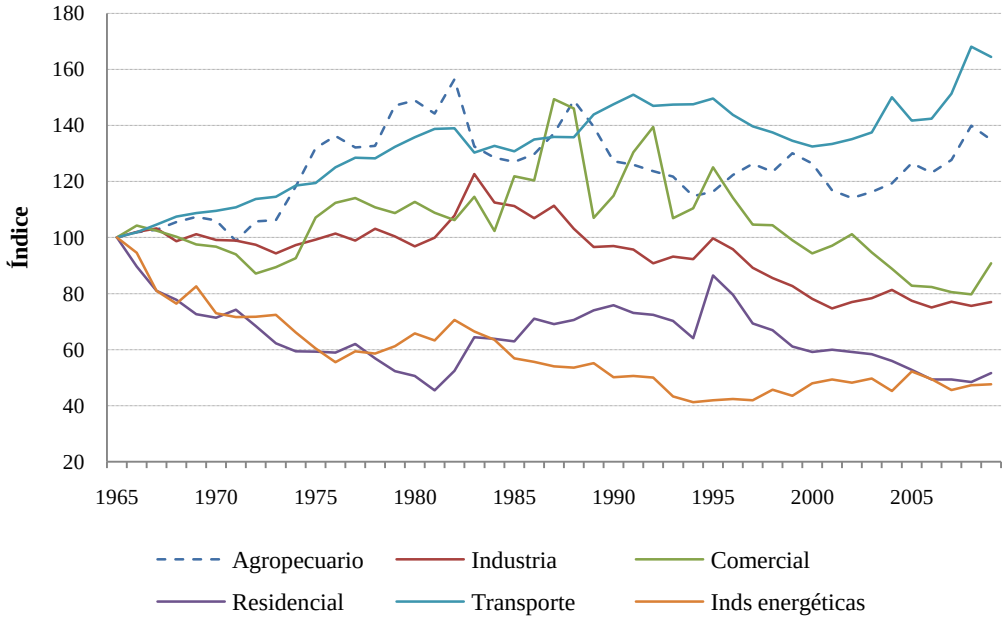
siderúrgica, por la caída del consumo de la industria química, la cual obedece a la disminución del consumo de energía en petroquímica y fertilizantes, que está marcada por la caída de la producción de estos sectores en México. (INE, 2008, p. 13).

El sector agropecuario muestra una participación relativamente estable en las dos últimas dos décadas. Por su parte los sectores comercial y residencial solo contribuyen con alrededor de 2% cada uno. Así que los sectores prioritarios para definir una senda más eficiente en el consumo de energía, son el transporte, el industrial, agropecuario y las industrias energéticas.

La intensidad energética de cada sector también ilustra las diferencias en los niveles de eficiencia en los distintos sectores demandantes de energía. Se considera la proporción de energía a PIB, y con el propósito de ilustrar las diferencias se transforman las series en índices tomando como año base 1965=100 y se aprecian trayectorias diferentes en las intensidades. Así, por ejemplo se destaca que los sectores transporte y agropecuario no han revertido su tendencia ascendente. El sector transporte muestra una clara tendencia ascendente en la intensidad energética, no obstante la disminución observada hacia mediados de la década de los noventa. De hecho en el periodo de 1990 y hasta 1999 se registró una disminución del orden de 0.9 por ciento en promedio anual, pero a partir de 2000 y hasta 2009 se revierte esta tendencia con un crecimiento de 2.4% anual. Indicando que en el sector transporte se requieren cada vez más unidades de energía para generar una unidad de producto, siendo el sector con mayor tasa de crecimiento en la intensidad energética. En este sentido, el trasporte ha perdido eficiencia, un factor relevante considerando que este sector contribuye con el 20 por ciento de las emisiones de CO_2 equivalentes. El segundo sector es el agropecuario. Se observa una tendencia descendente entre 1980 y 1994, pero a partir de 1995 el sector ha perdido eficiencia en el uso de la energía. Así por ejemplo, en 1982 se llego a un nivel de 1.7 megajoules por unidad de producto habiendo sido 1.1 en 1996. Esto significa que en este periodo se generó un desacoplamiento de 2.95%. Sin embargo, este proceso se ha mantenido en 0.72% anual entre 2000 y 2009, lo cual muestra un claro estancamiento en la capacidad de innovación

tecnológica y de hecho en los últimos tres años muestra un ligero aumento en el indicador de eficiencia.

Gráfica 10
Intensidades energéticas por sectores
(Índice valor de 100 en 1965)



Fuente: Con base en información del Sistema de Información Energética (SIE) (http:\\sie.energia.gob.mx) e INEGI

Las industrias energéticas cuya eficiencia esta medida respecto al PIB del sector eléctrico (Figura 4), muestra una tendencia descendente, pero desde mediados de la década de los noventa esta tendencia si bien no se revierte, los niveles de intensidad energética se mantienen relativamente estables, indicando que los requerimientos energéticos por unidad de producto se han mantenido prácticamente constantes. La reducción promedio anual es de sólo 0.08% anual. La eficiencia energética en el sector residencial con respecto al PIB de la construcción, ha mantenido una tendencia descendente. Esto es, que se requieren cada vez menos unidades de energía por unidad de producto. De hecho el ritmo de desacoplamiento en el periodo de 2000 a 2009 se ha mantenido en 1.5% anual, siendo uno de los sectores que muestran una disminución progresiva en los requerimientos de energía y en consecuencia los costos son cada vez menores. En el sector Industrial se registra un fuerte descenso en la intensidad energética desde mediados de la década de los ochenta, así en el

periodo de 1990 a 1999 se registra un descenso del orden de 1.8% anual, que es la más alta en relación al resto de los sectores, pero en la última década tiende a estancarse el ahorro de energía en este sector, con un descenso promedio de solo 0.16% anual.

El sector comercial muestra fuertes oscilaciones en la trayectoria de la intensidad durante la década de los ochenta y los noventa, que no permiten identificar una trayectoria en el período de análisis. Sin embargo, desde 1996 se ubica el punto de inflexión en la trayectoria hacia una disminución en la intensidad energética con un ritmo de desacoplamiento de 0.4% anual. En este sentido, el sector comercial muestra un aumento en los niveles de eficiencia en el consumo de energía y en consecuencia un menor costo por unidad de energía utilizada.

Las principales tendencias en la industria energética muestran que la demanda de energía se concentra en los sectores del Transporte (24 por ciento), Industrias Energéticas (28 por ciento) e Industrial (17.4 por ciento). 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 que se ha traducido en un aumento de las emisiones de los GEI, de hecho los tres sectores contribuyen con cerca del 60 por ciento de las emisiones de CO_2. Por otra parte, no se observa un cambio en las intensidades energéticas, en el caso de las industrias energéticas se ha estancado la eficiencia y en la industria la intensidad ha disminuido en solo de 0.16% anual, en tanto que, el trasporte registra un crecimiento del orden de 2.4% en sus requerimientos de energía. Este resultado indica que cada vez se requieren más unidades de energía para generar una unidad de producto y en consecuencia se aumentan la demanda 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. En el siguiente apartado se aborda el tema de la estimación de una función de demanda de la energía por sectores a fin de contar con escenarios prospectivos sobre esta variable relevante para definir medidas de política pública orientadas a una economía baja en emisiones de CO_2.

5. Demanda de energía: una estimación econométrica

Especificación del modelo econométrico

La evaluación de diferentes medidas de política energética, con el objetivo de mitigación, requiere la construcción de la trayectoria tendencial o escenario base (*business as usual – BAU*) de la demanda de energía a mediano plazo. Este escenario se utiliza como referencia o comparación ante distintas medidas de la política como cambio en los precios relativos de la energía o medidas que mejoren la eficiencia en el uso de la energía. Desde luego, la construcción del BAU requiere definir la trayectoria de las variables y factores más relevantes que inciden en la evolución de la demanda de energía en sus diferentes sectores. La construcción de escenarios se realizó con base en la especificación y estimación de distintos modelos econométricos que estiman la trayectoria del consumo de energía a nivel nacional y por sectores. Estos modelos permiten obtener el impacto agregado de un cambio en los precios relativos de la energía y del nivel de ingreso, aproximado por el PIB de la economía mexicana.

El consumo de energía puede considerarse como una función de diversos factores, en donde destacan la trayectoria del producto y de su composición estructural, del progreso técnico y de la evolución de los precios relativos o incluso el estilo de vida o preferencias de los agentes económicos (Jorgerson y Wilcoxen, 1993, Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997, Jorgenson y Wilcoxen, 1998). En el caso de la economía mexicana la demanda nacional de energía se especificó tanto a nivel nacional como por sectores (industrias energéticas, agropecuario, industrial, residencial, comercial y transporte) con base en la especificación de una función de demanda donde el consumo de energía es una función del ingreso y de los precios relativos de la energía.

Así, el consumo de energía puede modelarse como una función de demanda que depende del ingreso o del ingreso *per cápita*, y de los precios relativos (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), Soytas y Sari (2003), Stern y Cleveland (2003), Galindo (2005), Galindo y Sánchez (2005) y Galindo y Caballero (2007).

(4.1) $$ec_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 pr_t + u_t$$

Donde ec_{it} representa los distintos sectores demandantes de energía incluyendo agropecuario, industrial, residencial, comercial, industrias energéticas y transporte; el primer subíndice indica sector y el segundo el período de tiempo, y_{it} es el producto total asociado al sector (se utilizan sus respectivos productos) y pr_t son los precios relativos de la energía. u_t es el término de error[12]. Las estimaciones de las funciones de demanda se basaron en el uso 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). En este sentido, la estrategia econométrica buscó combinar el uso de técnicas econométricas modernas con la obtención de modelos causales con sentido económico que permitieran además obtener simulaciones y pronósticos relativamente razonables. Asimismo, se buscó que los modelos econométricos finales no tuvieran un sobre-ajuste a los datos del periodo histórico, ya que ello implicaría no sólo modelar las regularidades de la serie, sino sus componentes aleatorios más importantes.

Resultados de la estimación de la demanda de energía.

Las estimaciones de las funciones de demanda de energía se apoyan en el procedimiento de Johansen (1988), el cual utiliza la especificación de un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR). Así para cada sector se especificó un modelo VAR incluyendo las variables de consumo de energía, PIB sectorial y los precios relativos de la energía (ce_t, y_t, pre_t), además se incluyeron como variables exógenas variables *dummy* de pulso para capturar los cambios en las trayectorias del consumo de energía. Los resultados de 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

[12] Para una definición detallada de las series ver el Apéndice.

metodología econométrica. En los Cuadros 2 y 2.1 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.

Cuadro 2
Ecuaciones normalizadas de la demanda de energía por sectores

Ecuación	Constante	PIB sectorial	Precios Relativos de la energía
Industrias energéticas		0.69	-0.06
Agropecuario	12.67	1.39	-0.35
Industrial	2.84	0.72	-0.20
Residencial	3.11	0.73	-0.19
Comercial	12.01	1.19	-0.69

Los resultados obtenidos deben leerse como elasticidad ingreso y elasticidad precio respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.1
Ecuaciones normalizadas de la demanda de energía nacional

Ecuación	Constante	PIB	Precios Relativos de la energía
Nacional	7.730	1.05	-0.12

Los resultados obtenidos deben leerse como elasticidad ingreso y elasticidad precio respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

Estos coeficientes permiten identificar varios aspectos importantes. En primer lugar destaca que la variable al largo plazo que tiene mayor influencia en la demanda nacional de energía es el PIB, es decir, la actividad económica del sector, determina en gran medida la trayectoria de largo plazo de la demanda de energía. La demanda nacional de energía muestra una elasticidad ingreso unitaria, 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 -0.12, es decir el consumo de energía mantiene una baja sensibilidad a los cambios en los precios de la energía. En el caso de la demanda de industrias energéticas se utiliza como variable de ingreso el PIB de generación y suministro de energía eléctrica, reportando una elasticidad ingreso menor a la unidad (0.69) así que responde en una menor magnitud ante cambios en la actividad económica en la generación de energía eléctrica. El sector agropecuario reporta una elasticidad ingreso superior a la

unidad, así que un crecimiento de la producción de este sector genera un aumento en la demanda de energía más que proporcional, pero al igual que en otros sectores la sensibilidad de respuesta a los precios es menor a la unidad.

La sensibilidad de la industria ante los precios también es reducida. Por ejemplo un aumento de los precios relativos de la energía en 10% implica una disminución de sólo 2% en el consumo de energía industrial. Si bien la elasticidad ingreso es menor a la unidad, muestra un efecto importante del producto de las manufacturas sobre el uso de la energía. Por ejemplo un aumento del 10% en el PIB de manufacturas podría generar un aumento en la demanda de energía del 7.2%, un valor elevado si se considera que el objetivo es lograr desacoplar la trayectoria de la energía de la evolución del PIB. El sector residencial tiene una elasticidad de 0.73 asociado al PIB de la construcción. La elasticidad que presenta en los precios el sector residencial mexicano es de -0.19. El sector comercial, también reporta una elasticidad superior a la unidad (1.19) con respecto al PIB de comercio. Así por ejemplo, un incremento del 10% en el comercio de la economía mexicana implica un aumento en el consumo de energía de 11.9%, en contraste, en este sector los precios relativos de la energía tienen un mayor impacto, con respeto a otros sectores, en el consumo de energía señalando que en este sector los agentes son más sensibles a los cambios en los precios. Por ejemplo un aumento del 10% en los precios podría implicar una disminución en la demanda de energía del 6.9%.

En el caso de la demanda energía en el sector trasporte (cet_t) se utilizó una especificación que considera que es una función del nivel de ingreso (y_t), aproximado por el PIB de toda la economía, pero debido a que el consumo en este sector se explica por el transporte automotor se incluyen los precios relativos de la gasolina (prg_t) y una variable que mide la eficiencia de los vehículos que representa un elemento importante en el consumo de gasolina (Harrigngton, 1997; Khazzom, 1995; Graham y Glaister, 2002) y se espera que registre una relación negativa con el consumo de gasolina. Esta variable se aproximó como la medida de kilómetros por litro del promedio de la flota vehicular.

La ecuación de largo plazo se define en la siguiente expresión:

$$(4.2) \quad \boldsymbol{cet_t = \beta_0 + \beta_1 * y_t + \beta_2 * prg_t + \beta_3 * km/lt_t + u_t}$$

Donde β_1 representa la elasticidad ingreso, β_2 la elasticidad precio de la gasolina, β_3 la elasticidad del rendimiento promedio y u_t es el término de error. Las letras en minúsculas representan el logaritmo natural de las series. La estimación de la ecuación (4.2) se basó en el procedimiento de Johansen (1988) para obtener un vector de cointegración para la demanda de energía en el sector transporte como se reporta en el Cuadro 3.

Cuadro 3
Ecuaciones normalizadas de la demanda de energía del sector transporte

Ecuación	$\boldsymbol{\beta_0}$	$\boldsymbol{\beta_1}$	$\boldsymbol{\beta_2}$	$\boldsymbol{\beta_3}$
Transporte	10.14	1.13	-0.15	-0.10

Fuente: Elaboración propia

Normalizando al vector de cointegración como una ecuación de demanda (Cuadro 3), se observa que el consumo de energía en el sector transporte tiene una elasticidad ingreso positiva y mayor que la unidad (1.13), en tanto la elasticidad precio de las gasolinas es negativa y con un valor menor a la unidad (-0.15). La elevada elasticidad ingreso se debe, en alguna medida, a las necesidades crecientes de transporte de la población.

En este contexto, debe además considerarse que el índice de motorización[13] en México resulta aun relativamente bajo al compararlo con otros países como Estados Unidos por lo que puede considerarse que el número de autos aumente rápidamente impactando al consumo de gasolinas. Sin embargo debe destacarse a este respecto que los precios relativos de los automóviles muestra una elasticidad negativa menor a la unidad, muy similar a la elasticidad reportada en los precios relativos de la gasolina. En el caso de la

[13] El índice de motorización, indica en qué medida la población local hace uso del auto como medio de transporte, es uno de los componentes de conocimiento más importante y necesario para implementar sistemas de transporte ecológicamente sostenibles en las ciudades.

tendencia en los rendimientos se registra una elasticidad negativa, indicando que un aumento en los rendimientos genera una disminución en el consumo de gasolina. Así, por ejemplo, un aumento de 10% en la eficiencia promedio podría generar una disminución de 1% en el consumo de energía, asumiendo que las demás variables no se modifican.

Con base en los resultados de las ecuaciones de largo plazo para las demandas de energía sectorial (Cuadros 2 y 3) se estimó un modelo de corrección de errores (Engle y Granger, 1987) con el propósito de modelar las variaciones de corto plazo del consumo de energía. Los resultados se presentan en Cuadro 4, donde las pruebas de diagnóstico indican que los errores no siguen un patrón sistemático, toda vez que rechazan la presencia de autocorrelación, heteroscedasticidad y se distribuyen como una normal. Ello indica que los modelos estimados contienen toda la información sistemática relevante al fenómeno dado el conjunto de información disponible. Así, los modelos reproducen adecuadamente la evolución de los datos (Gráficas de la 11 a la 17). Ello permite que los resultados se puedan utilizar para realizar pronósticos bajo distintos escenarios en las variables exógenas. Es importante destacar que el periodo de estimación del modelo de corto plazo corresponde a los años de 1970 a 2009, por lo tanto los modelos capturan la información histórica y las proyecciones consideran que los patrones regulares tienden a mantenerse, lo cual puede afectar los resultados con escenarios de muy largo plazo.

Cuadro 4
Modelos econométricos finales del consumo de energía nacional y por sectores

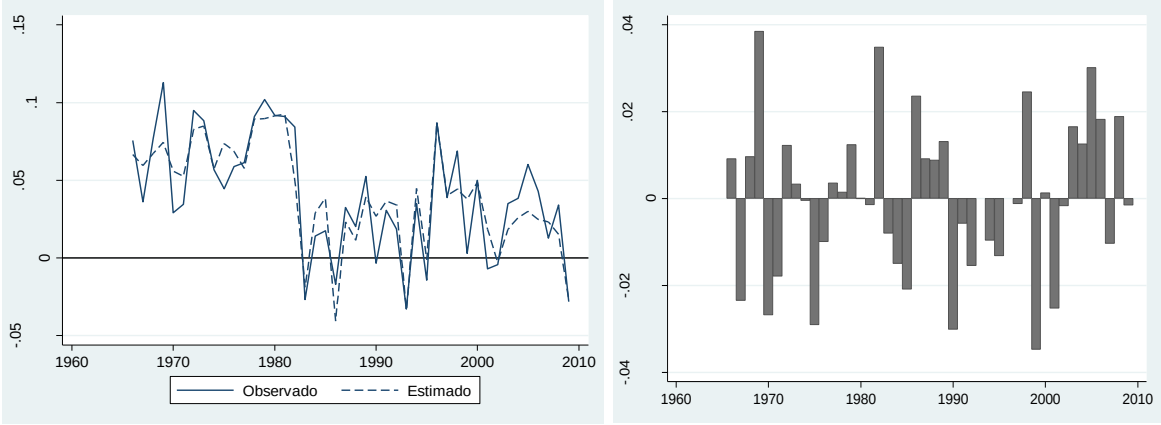
	Nacional	Industrias energéticas	Agropecuario	Industrial	Residencial	Comercial	Transporte
Variable	Δcne_t	$\Delta ceie_t$	Δcea_t	Δcei_t	Δcer_t	Δcec_t	Δcet_t
C	0.032 (-2.436)			0.026 (-2.106)	0.027 (6.120)	0.047 (5.879)	
Δcea_{t-1}			0.293 (2.332)				
Δcet_{t-1}					0.204 (-1.886)		0.2701 (4.6414)
Δcet_{t-2}							0.3639 (4.4827)
Δy_t	0.487 (5.356)			0.277 (1.963)			
Δyag_{t-2}			0.558 (2.279)				
Δyc_t					0.064 (1.818)	0.386 (4.288)	
Δytr_t							0.0836 (10.183)
Δyen_t		0.4900 (4.4440)					
Δpre_t	-0.135 (-3.312)	-0.2100 (-3.622)	-0.221 (-2.314)	-0.178 (-2.626)	-0.069 (-1.813)	0.201 (-2.891)	
Δpre_{t-1} Δpre_{t-3}							
ecm_{t-1}	-0.251 (-4.191)	-0.005 (-2.345)	-0.207 (-2.199)	-0.220 (-4.497)	-0.064 (-2.863)	-0.114 (-2.880)	-0.240 (-5.295)
Δprg_t							-0.020 (-1.708)
Δprg_{t-1}							-0.027 (-2.196)
d1	0.055 (-2.905) (dummy 93)	0.1040 (8.5209) (dummy 77)	-0.111 (2.855) (dummy 74)	-0.081 (3.773) (dummy 83)	0.102 (5.431) (dummy 90)	-0.114 (-9.988) (dummy 76)	0.240 (3.688) (dummy 04)
d2	-0.045 (2.36) (dummy 96)	-0.104 (12.580) (dummy 07)	-0.155 (-3.480) (dummy 83)	-0.094 (-1.588) (dummy 01)	-0.030 (-3.177) (dummy 99)	-0.304 (-8.346) (dummy 89)	0.050 (-3.009) (dummy 05)
d3		-0.083 (-2.875) (dummy 04)	-0.082 (-2.082) (dummy 92)	-0.070 (-0.070) (dummy 09)	-0.040 (-2.222) (dummy 05)	-0.261 (-7.470) (dummy 93)	0.104 (6.283) (dummy 08)
Pruebas de Diagnostico							
R^2	0.787	0.866	0.565	0.706	0.680	0.893	0.920
J-B	0.436 (0.804)	0.971 (0.615)	4.638 (0.098)	1.468 (0.479)	0.533 (0.758)	0.294 (0.863)	0.158 (0.923)
LM (2)	0.322 (0.726)	0.296 (0.745)	0.629 (0.539)	1.547 (0.277)	1.096 (0.345)	2.278 (0.320)	2.157 (0.131)
ARCH (2)	0.129 (0.896)	1.599 (0.223)	0.358 (0.701)	0.383 (0.684)	1.090 (0.346)	0.677 (0.513)	0.541 (0.586)
RMSE	0.017	0.026	0.035	0.027	0.016	0.030	0.014

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. La prueba J-B es para normalidad, la prueba LM es para autocorrelación y la prueba ARCH es para heterocedasticidad. RMSE significa Root Mean Squared Error (Error Cuadrático medio). Los valores entre paréntesis de los coeficientes representan el estadístico t. Las letras en minúsculas representan el logaritmo natural de las series. Periodo 1968 – 2008.

Fuente: Elaboración propia

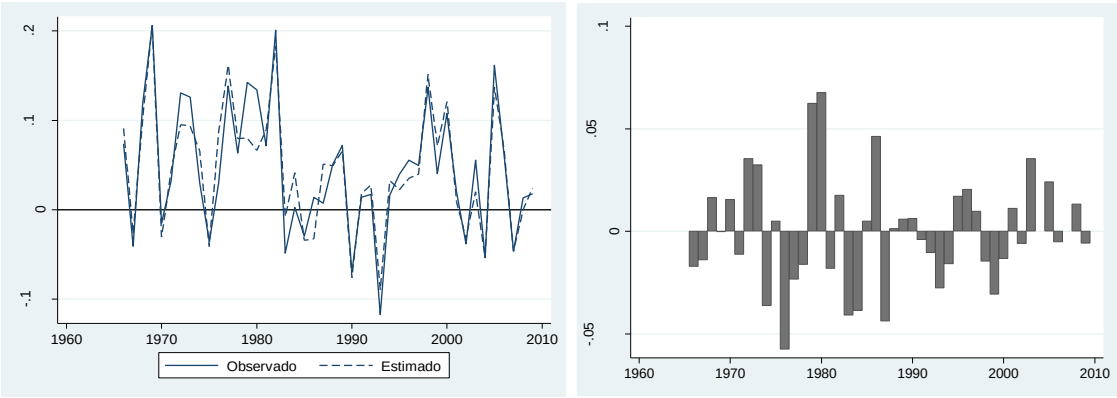
Gráfica 11

Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía nacional y por sectores: 1965 – 2009



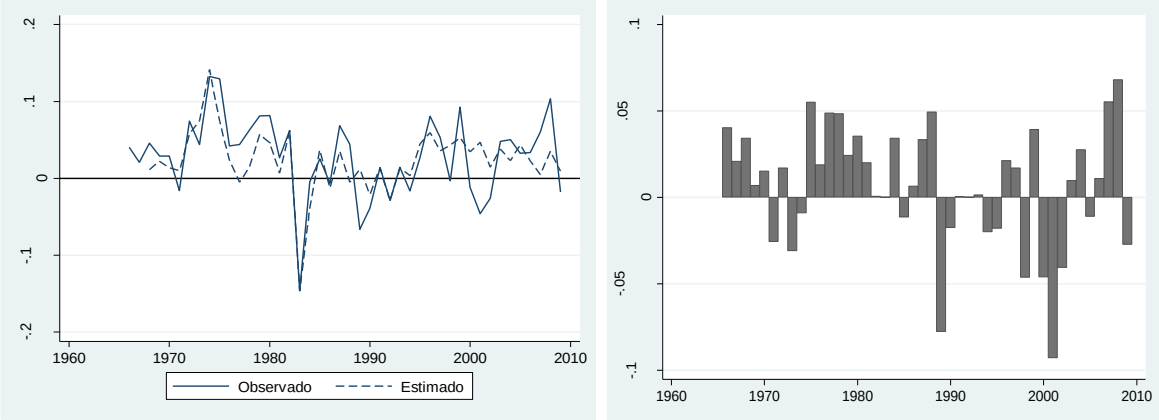
Gráfica 12

Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía de las industrias energeticas



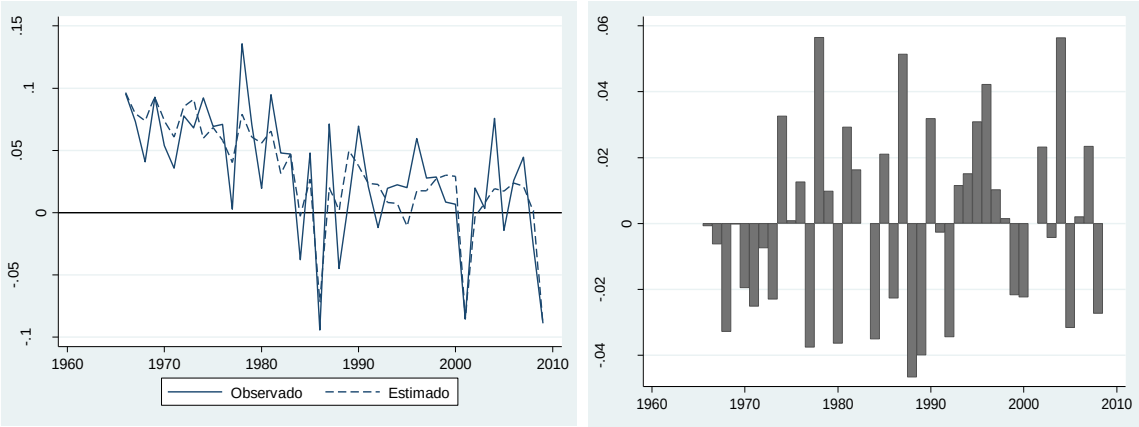
Gráfica 13

Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía del sector agropecuario



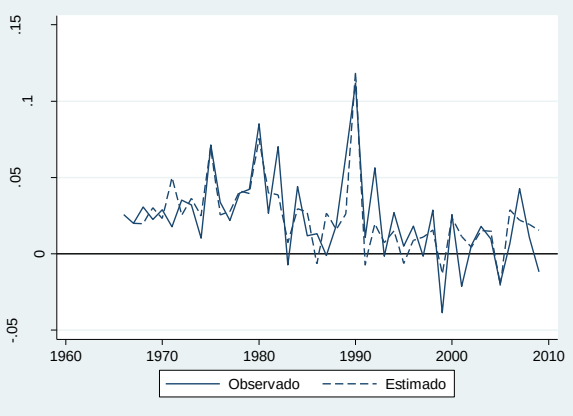
Gráfica 14

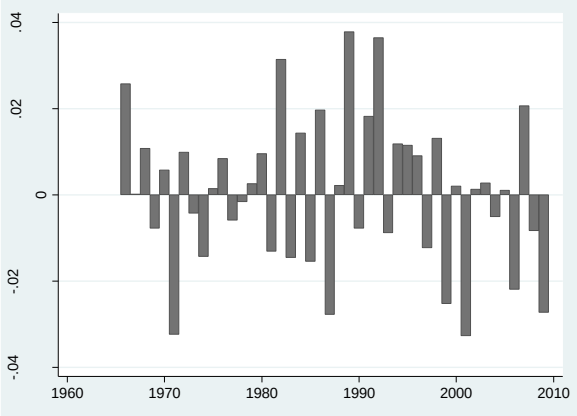
Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía del sector industrial



Gráfica 15

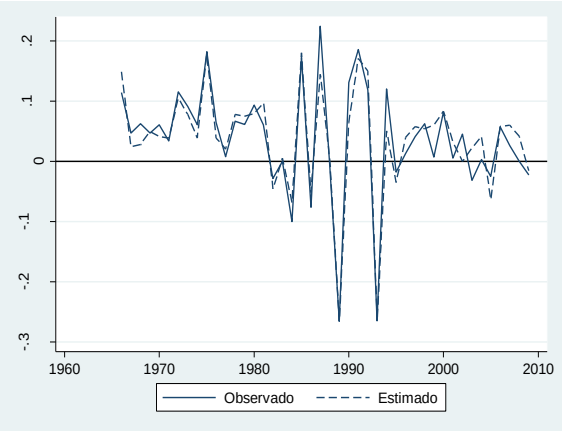
Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía residencial

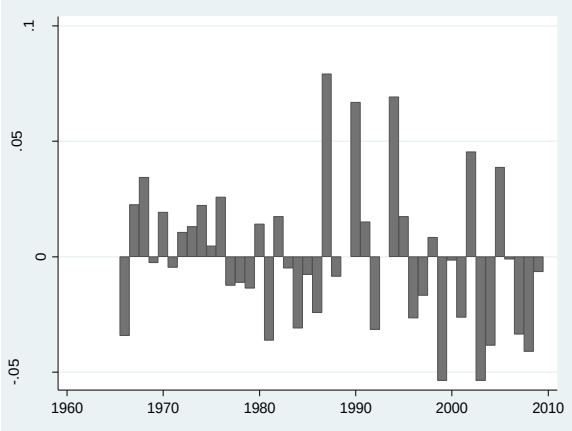




Gráfica 16

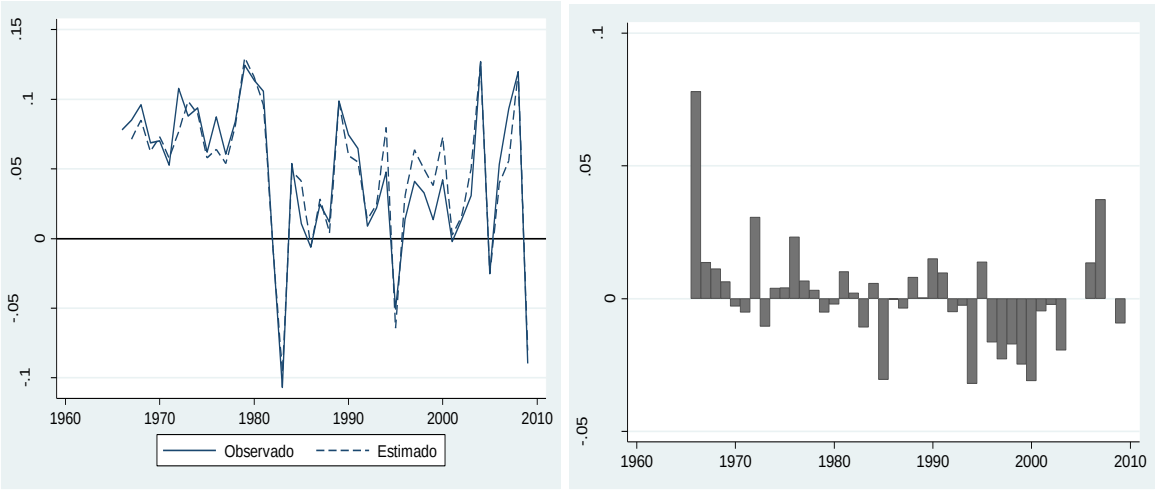
Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía comercial





Gráfica 17

Valores actuales, estimados y residuales de la variación del consumo de energía del sector transporte



Fuente: Elaboración propia

Las estimaciones obtenidas indican que los cambios en el ingreso son fundamentales mientras que los cambios en los precios relativos tienen un papel marginal. Esto sugiere que la mayoría de las actividades económicas no disponen de substitutos energéticos adecuados o que al menos los costos requeridos para reconvertirse de fuente energéticas son elevados. Estos resultados son consistentes con la hipótesis de que las elasticidades precio, para propósitos de política económica, deben ubicarse por debajo de –0.5 (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997). Estos resultados, desde luego, imponen limitaciones importantes al uso de una política exclusivamente de precios para controlar el consumo energético en México. Por ejemplo, una política de control energético basada en un impuesto, bajo las condiciones actuales, puede ser muy costosa.

Además se comprueba que la elasticidad ingreso es positiva en todos los casos, lo cual confirma que la correlación entre en consumo de energía nacional y por sectores y el ingreso real es significativa. Por lo tanto, se puede decir que para racionalizar el consumo energético se tiene que aplicar una política sobre la relación entre el ingreso o el producto

real y no exclusivamente sobre los precios relativos de la energía, ya que su efecto no es muy significativo tanto en el largo como en el corto plazo.

Estos resultados son relativamente consistentes con la evidencia internacional en donde se observa, en promedio, por un lado, elasticidades ingreso para los países desarrollados para los sectores residencial e industrial de 0.66 y 0.96 respectivamente y una elasticidad precio, para estos mismos sectores de -0.97 y –1.16. Por su parte, para los países en vías de desarrollo se observa una elasticidad ingreso para los sectores residencial e industrial de 0.73 y 1.18 respectivamente y una elasticidad precio de –0.48 (Figura 3). Las elasticidades reflejan el hecho de que el consumo de energía, dependiendo del nivel de ingreso, corresponde, por un lado, a un bien indispensable y por el otro a un bien de lujo. Esto es, desde luego, al consumo de energía eléctrica para alumbrado es un bien indispensable lo que no sucede con el uso de equipos de aire acondicionado. De este modo, la mayor elasticidad precio en los países desarrollados indica que una mayor proporción de consumo eléctrico corresponde al uso de distintos bienes durables.

Figura 3
Estudios sobre demanda de energía

Autor	País de estudio	Vector de cointegración			
		B_0 Constante	B_1 Ingresos	B_2 Precios relativos	
Demanda de Energía					
Dahl, Carol A. (1993)	Estados Unidos		1	-0.45	
See S.H. Wade. (2003).				-0.20 Residencial -0.10 Comercial	
Galindo L.M. (2005)			0.641	-0.075	
Lester C. Hunt Yussushi. (2005)	Japón (1888-1970) (1880-2001) (1888-2001)		0.99 1.05 1.06	-0.12 -0.20 -0.18	
Christian C. and Frederick I. (2005)	pennsylvania		1.04	-0.06	
	New Jersey		0.72	-0.59	
	Maryland		0.47	-0.22	
Galindo L.M. y K. Caballero (2007)	Estados Unidos		1	-0.45	
Agnolucci Paolo (2009)	Alemania Inglaterra	-0.02 -0.01	0.77 0.18	0.13 -0.10	
Soytas U., and Sari R. (2009)	Turquía		0.562	-0.014	
Catalán A.H. y Sánchez L. (2009)	México	-15.892	1.170	-0.156	
Bölük G. and Ali K. (2010)	Turquía	0.293		-0.25	
Demanda de energía Electica					
Diabi (1998)	Arabia Saudita		0.09	-0.12	
Narayan and Smyth (2005)	Australia		0.408	-0.541	
Filippini and Pachauri (2004)	India	-2.081 -0.914	0.637 0.604	-0.29 -0.652	
Bornacki M. L. (2004)	Brasil	6.80	1.588	-0.489	ΔLc=0.0283+0.6781*Δlr-0.0955*Δlp-0.2934*mce(-1)
Bornacki M. L. (2005)	Minas Gerais (Brasil)	16.994	0.532	-0.258	Δlde=0.083-0.434*mce(-1)-0.193*dummy92
Poiris A. (1987)	Sudáfrica		0.71	-0.9	
Erdogdu Erkan (2007)	Turkia	-0.04 -5.12	0.99 1.18	-0.01 -1.17	
Agnolucci Paolo (2009)	Alemania				
Roula Inglesi (2010)	Sudáfrica	7.362	0.415	-0.564	Δlc=-0.0496+0.8196*Δly+3.4669*Δlpob-0.2438*mce(-1)

Nota: las estimaciones están en logaritmos

6. Escenarios del Consumo de Energía 2011-2050

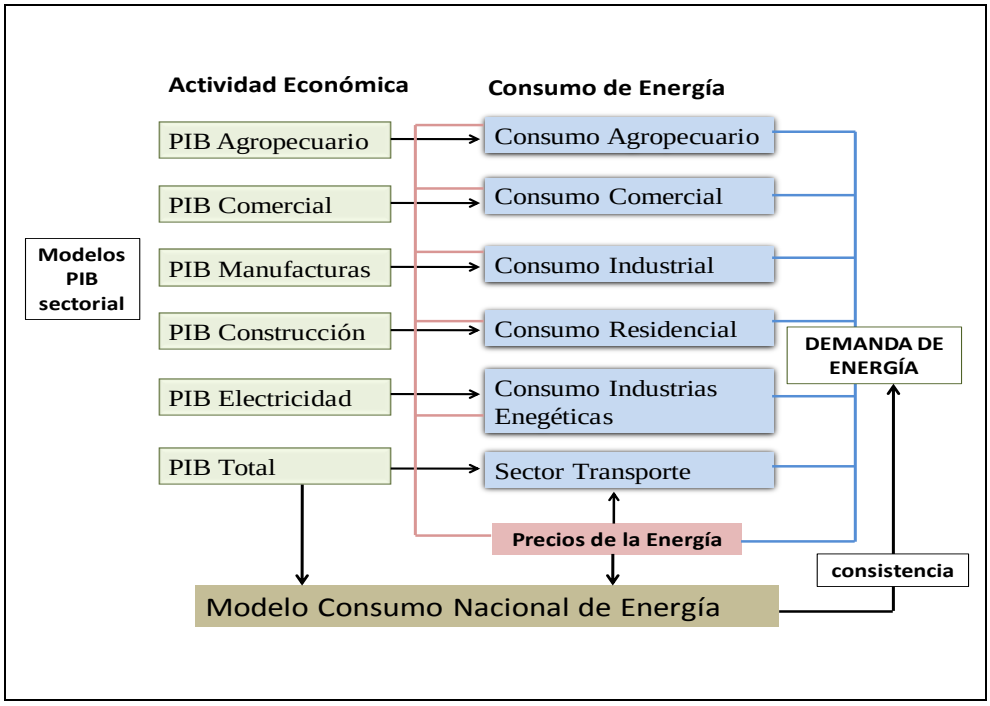
El consumo de energía es un factor fundamental en cualquier economía moderna y es sin duda esencial para definir una estrategia de desarrollo económico sustentable. La demanda de energía y sus pronósticos representan información relevante en la planeación a mediano y largo plazo, ya que permiten identificar tanto el ritmo de crecimiento del sector como la necesidad de inversiones. Así, en México existe un debate intenso sobre las relaciones que se establecen entre crecimiento económico y consumo de energía y sus implicaciones en términos de un desarrollo sustentable nacional o incluso atendiendo a los compromisos internacionales que se deben establecer, por ejemplo, en términos de cambio climático en México. En efecto, en el caso de México, la importancia del sector petrolero, los altos niveles de consumo energético y sus consecuencias negativas sobre el medio ambiente han repercutido en intensas discusiones sobre las posibles trayectorias y alternativas para controlar y racionalizar el consumo de energía.

En este sentido, los modelos econométricos estimados sobre la demanda de energía permiten realizar ejercicios de simulaciones y proyecciones, sobre esta variable para evaluar distintos escenarios. Como se ha mencionado el modelo tiene un enfoque "*top down*" en donde el consumo de energía se analiza en el contexto de un modelo macroeconómico que estima las trayectorias de la actividad económica en los distintos sectores. Como se muestra en la Figura 4, cada sector demandante de energía (comercial, industrial, residencial, industrias energéticas y transporte) está asociado al producto de la actividad económica sectorial y al Producto Interno Bruto (PIB), que su vez contiene un modelo econométrico que permite realizar una trayectoria del PIB por sectores, el cual es usado en los modelos de demanda de energía. Las ecuaciones representan una demanda de energía tradicional, en donde el consumo de energía depende del ingreso y del pecio relativo de la energía (Pindyck, l979). En este contexto, es común la simplificación de suponer al consumo de energía como una entidad derivada de la trayectoria del producto y de su composición estructural, del progreso técnico y de la evolución de los precios

relativos (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997, Howarth, Schipper y Anderson, 1993 y Nachane, Nadkarni y Karnik, 1988 y Jorgenson, 1998).

Figura 4

Modelos de demanda de energía



Los modelos de PIB sectorial[14] se asocian a la ecuación del producto a nivel nacional. En este caso se considera que el crecimiento económico depende fundamentalmente de la evolución del capital, apoyada por los efectos del tipo de cambio real y de los efectos de la dinámica económica del resto del mundo (aproximada por el producto de Estados Unidos). Asimismo, depende de los efectos de los precios relativos de la energía, asumiendo que la energía es un insumo fundamental para la producción, de modo que un aumento en su precio tiene efectos negativos en el producto. Esto permite construir trayectorias del PIB total y por sectores que a su vez se incluyen en las funciones de demanda de energía sectorial así como en los precios relativos de la energía, por lo tanto, la demanda estimada de energía es compatible con el escenario de crecimiento económico y de precios de la energía.

[14] En el siguiente apartado se discute con mayor detalle los modelos del PIB utilizados.

Los resultados de las estimaciones indican que los cambios en la actividad económica, a través del PIB, influyen de manera preponderante en la trayectoria de la demanda de energía, mientras que los cambios en los precios relativos tienen un papel marginal y se requieren fuertes aumentos en los precios relativos de la energía para influir en las trayectorias del consumo de energía. Esto sugiere que la mayoría de las actividades económicas no disponen de sustitutos energéticos adecuados o que al menos los costos requeridos para reconvertir las fuente energéticas son elevados. Estos resultados, imponen limitaciones importantes al uso de una política exclusivamente de precios para influir en el consumo energético en México. Por ejemplo, una política de racionalización del consumo energético basada en un impuesto, bajo las condiciones actuales, puede ser muy costosa.

Con el 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.

Escenario base de demanda de energía:

- Se asume un crecimiento del producto del 3 por ciento en promedio anual en el periodo 2010 a 2050, para el PIB nacional[15]
- El crecimiento en el PIB de Manufacturas es de 2.8 por ciento anual
- El sector agropecuario crece a 2.2 por ciento promedio anual
- Se asume un crecimiento de 4.1 por ciento en sector comercial
- El sector de la construcción 2.5 por ciento
- El PIB de la industria energética se ubicará en una tasa de 3.2 por ciento anual
- No existen cambios en los precios relativos de energéticos.

El escenario alternativo que se evalúa en este ejercicio es un aumento permanente de los precios relativos de la energía en tres casos: 1, 2 y 3 por ciento anual de 2012 a 2050 respectivamente. Los cambios en los precios relativos también tendrán un impacto en la

[15] El escenario de crecimiento de 3% anual considera el impacto de la crisis internacional que afectará el crecimiento entre 2011 a 2020. En el escenario original se había considerado la tasa del PIB en 3.5% anual y ahora es corregido a la baja.

trayectoria del PIB total y de los sectores, esto tendrá consecuencias en las trayectorias de largo plazo en la demanda de energía a nivel de sectores, estas nuevas trayectorias se comparan con el escenario base con el propósito de obtener una estimación del ahorro en el consumo de energía. Asimismo, existe un impacto negativo de los precios de la energía en la actividad económica que también refuerza el efecto en la demanda de energía, el modelo permite estimar el costo en términos del producto derivado de un aumento en los precios relativos de la energía.

Con base en los modelos econométricos se realizaron simulaciones estocásticas sobre las trayectorias de los consumos de energía esperados, bajo el escenario base. La representación gráfica de las simulaciones corresponde a las gráficas "Fan Chart", las cuales tiene como ventaja describir completamente la densidad marginal de pronóstico en cada uno de los periodos del horizonte de pronóstico, además permiten que la densidad marginal de pronóstico sea asimétrica (Julio, 2006). Así, para cada sector demandante de energía se calcularán bandas con niveles de 60, 80 y 90 por ciento de significancia.

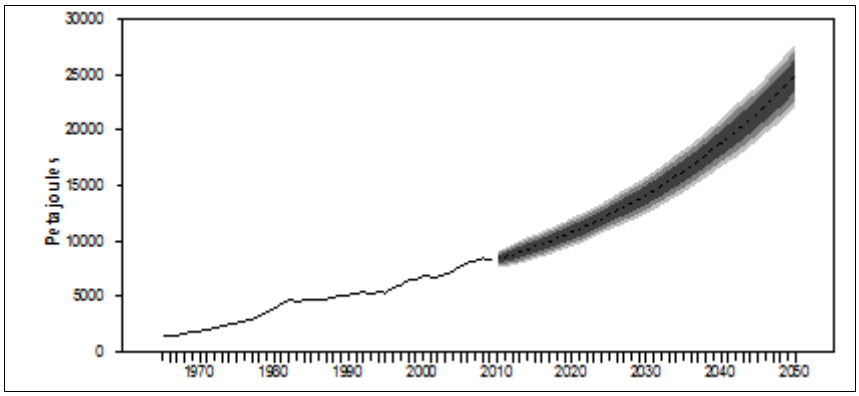
6.1 Resultados en el Escenario Base

Consumo Nacional de Energía

De no modificarse la estructura actual de la economía y los requerimientos de la matriz energética, la relación entre consumo de energía y evolución del PIB se mantendrá en las siguientes cuatro décadas lo cual implicará que el consumo nacional de energía crezca a un ritmo de 2.81% en promedio anual entre 2010 a 2050, compatible con un crecimiento de la economía del 3% anual en el mismo periodo. Asimismo, la simulación estocástica sobre el escenario base muestra que el crecimiento del consumo nacional de energía se puede ubicar con mayor probabilidad en un rango de 2.15 a 3.48 por ciento anual (Gráfica 18).

Gráfica 18

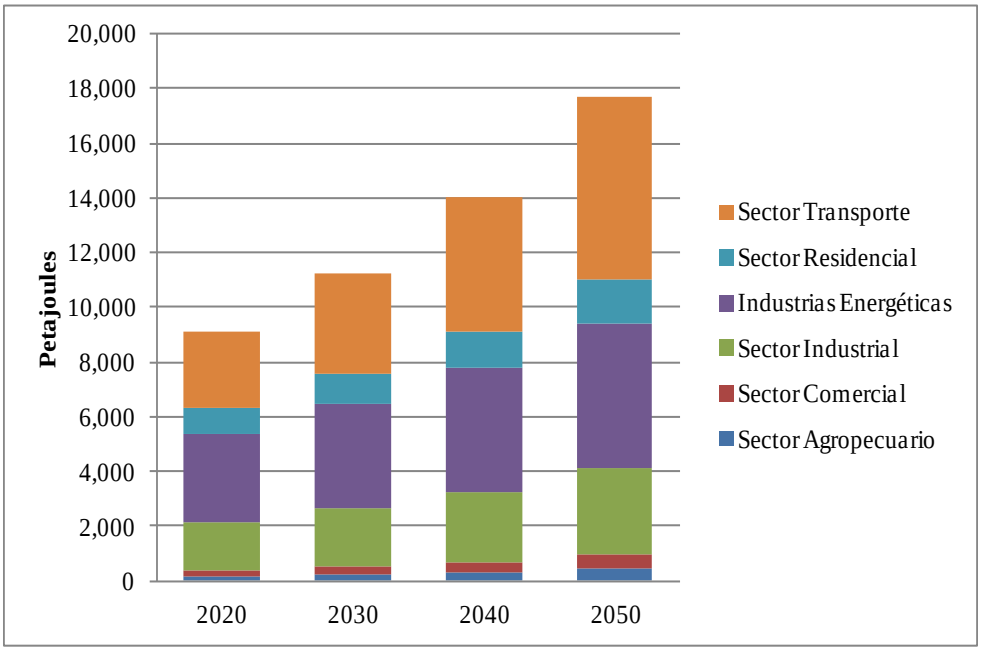
Escenario base demanda de energía



Este ritmo de crecimiento de la demanda de energía se explica en buena medida por la dinámica del sector transporte que será el principal demandante de energía y se espera que en 2050 represente el 38% de la demanda total. También destacan las industrias energéticas y el sector industrial como sectores que presionarán la demanda de energía. Este resultado es compatible con el hecho de que estos tres sectores (industrias energéticas, transporte e industrial) son los principales demandantes de combustibles de origen fósil (gasolina, gas y combustóleo). Por lo tanto, la trayectoria estimada de la energía tendrá un impacto importante en este tipo de combustibles y en consecuencia en las emisiones de GEI (Gráfica 19).

Gráfica 19

Composición de la demanda de energía por sectores



Es importante señalar que la modelación de las trayectorias de demanda no considera el cambio tecnológico o cambios en la intensidad energética, no obstante la simulación estocástica permite ubicar el límite superior e inferior de crecimiento, con base en la información histórica de la serie. Así, se obtiene que el consumo de energía nacional podría ubicarse en un ritmo del orden del 2.15% anual que sería un escenario compatible con una disminución en la intensidad energética de 0.6 a 1 por ciento, lo cual se observó en el periodo de 1987 a 1996. Así, el límite inferior es compatible con un aumento de la eficiencia (aproximado por la disminución en la intensidad) de alrededor del 1% promedio anual permanente de 2010 a 2050, lo cual implicaría un ahorro de hasta 20% en el consumo de energía en 2050 respecto al escenario base. En contraste, un aumento en la intensidad energética del 1% en promedio anual y un crecimiento del PIB del 4% implicarían que el consumo de energía crecería a una tasa de 3.48% anual, es decir, al 2050 el consumo de energía sería superior en 29% respecto al escenario base. Esto se debe a la elasticidad unitaria reportada en la función de demanda del consumo nacional, indicando la fuerte asociación con la trayectoria de la actividad económica.

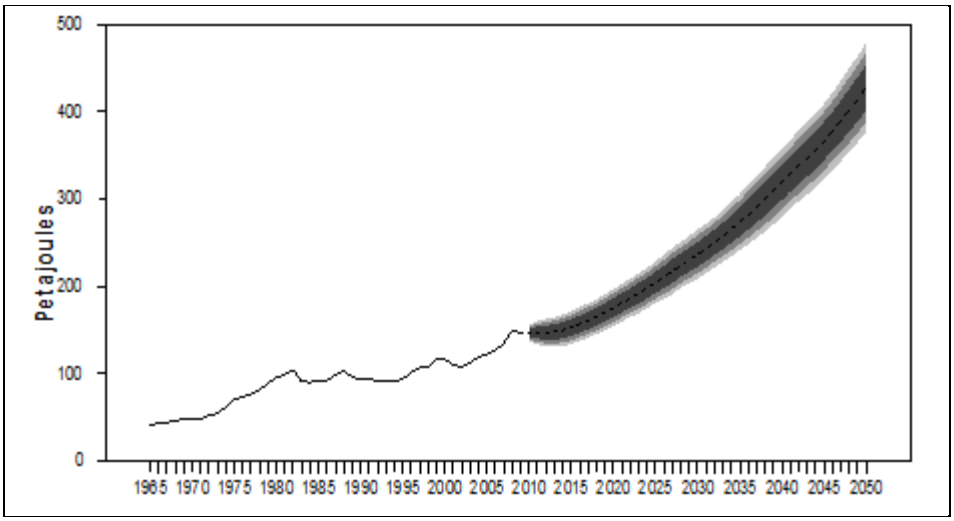
Demanda de Energía en el Sector Agropecuario

Bajo un escenario de crecimiento del PIB agropecuario de 2.2% en promedio anual de 2010 a 2050 y precios relativos constantes, la demanda de energía en este sector reporta un crecimiento de 2.71% anual para el periodo de análisis (Gráfica 20). La elasticidad ingreso de la demanda de energía es superior de la unidad (1.4), por lo cual la demanda sobre reacciona al crecimiento del producto. Con una probabilidad del 60% la tasa de crecimiento de la demanda se ubicaría en un rango de 1.87 a 3.55 por ciento anual. En la información histórica se observa que una disminución de la intensidad energética del 0.8% es compatible con un crecimiento de la demanda del 1.38%. En este sentido se puede asumir que el límite inferior es compatible con una mayor eficiencia en el uso de la energía.

Una disminución de la demanda de energía en el sector agropecuario a un nivel de 1.87% cada año implicaría un ahorro[16] de hasta el 30% en 2050. Este resultado es interesante, debido a que esta disminución implicaría un proceso de desacoplamiento entre la energía y el producto sectorial, pero este proceso se ha detenido en la última década ya que el ritmo de desacoplamiento se ubica en sólo 0.8% anual, lo cual muestra que un claro estancamiento en la capacidad de innovación tecnológica.

[16] El ahorro se define como la diferencia entre el consumo con la tasa del límite inferior y el consumo en el escenario base. El ahorro crece tendencialmente y en 2050 la diferencia entre el escenario base y el límite inferior representa el 30% del escenario base.

Gráfica 20
Escenario base por sectores
Consumo de energía: sector agropecuario



Además, es importante señalar, que el sector agropecuario se abastece principalmente de diesel, que contribuye con cerca del 72% del consumo de combustibles en este sector, seguido de la electricidad con 22.3% y el gas licuado de petróleo con 6.1%. De no realizar procesos de sustitución de los combustibles y de uso eficiente de la energía, el escenario base implicará un aumento en la demanda de estos combustibles. De hecho en el límite superior con una tasa de 3.55% anual. Es decir una mayor expansión de la producción agropecuaria y una disminución de la eficiencia energética. Significaría que la demanda de energía en 2050 en el sector agropecuario aumentaría hasta en un 35% respecto al escenario base.

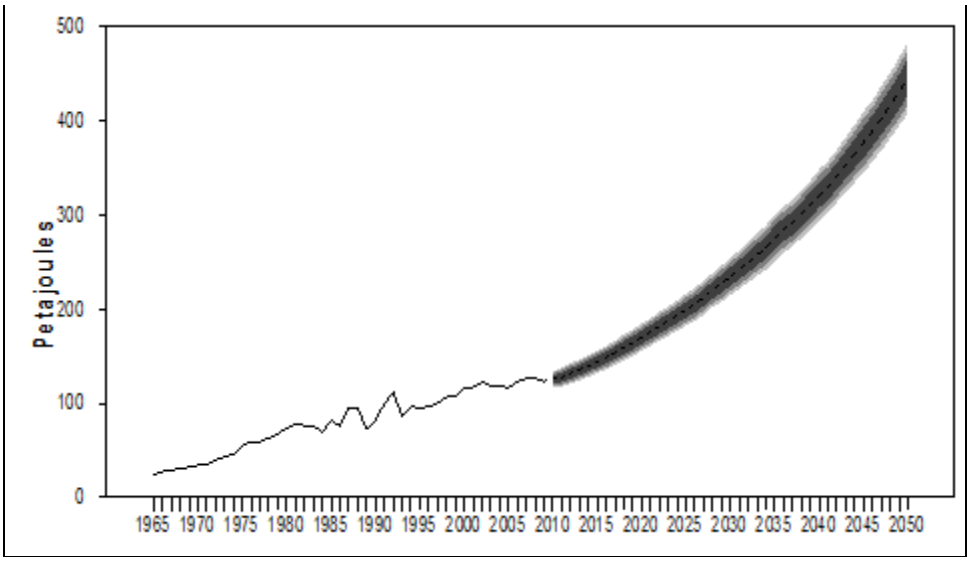
Demanda de Energía en el Sector Comercial

En sector comercial se espera un fuerte crecimiento en la demanda de energía a una tasa del 3.56% anual de 2010 a 2050, esto debido a la expansión de este sector cuyo crecimiento del PIB se podría ubicar en 4% anual (Gráfica 21), elevando sus requerimiento de energía, debido a que es uno de los sectores con una elasticidad ingreso superior a uno, por lo que la demanda de energía muestra un aumento más que proporcional al que se registra para el PIB, si no se implementan acciones para desacoplar las trayectorias del PIB y la energía en

este sector no se podrán lograr reducciones importantes sin la necesidad de afectar el crecimiento económico del sector comercial. Si bien es un sector que muestra una disminución en la intensidad energética, el ritmo de desacoplamiento ha sido menor y practicante se ha estancado en los últimos diez años, reduciendo su eficiencia energética el sector. En este sentido, de no modificarse estas condiciones el consumo de energía se acelera de 2030 a 2050, debido también a la expansión del sector comercial en el conjunto de la economía, que se espera crezca a una tasa de 4.1%, es decir, por arriba del promedio de toda la economía (3%), debido a que el sector de los servicios tiende a ser más relevante para la estructura de la economía mexicana. Así, considerando que no se modifican los precios relativos de la energía y no se reduce la intensidad energética, se espera un fuerte, repunte del consumo de energía en el sector comercial.

Gráfica 21

Escenario base por sectores
Consumo de energía: sector comercial



La simulación estocástica indica que le rango de crecimiento del consumo de energía del sector comercial se ubica entre 2.60 a 4.53 por ciento anual, es decir, aún siguiendo con una reducción de la intensidad energética del 1% no se obtendrá una reducción significativa. Por otra parte, una recuperación de la economía implicaría que la demanda de energía en el

sector comercial podría ubicarse hasta en 4.53%, esto podría significar hasta un 45% más respecto al escenario base en el año de 2050, bajo condiciones de un crecimiento acelerado de la economía mexicana de 4% anual, sin cambios en los precios relativos de la energía, y asumiendo que no se mejora la eficiencia en el uso de la energía. Esto podría tener un impacto importante en la demanda del Gas LP y la electricidad asociados al consumo de energía en el sector de comercial.

Demanda de Energía en el Sector Industrial

El sector industrial ha perdido dinamismo en el conjunto de la economía y por lo tanto se espera que su participación en el PIB nacional decline lentamente hasta el 2050, por lo tanto la demanda de energía registrará un crecimiento del orden de 2.24% anual, bajo el escenario base. Este sector registra una menor sensibilidad al nivel de producto (0.72) y por otra parte su elasticidad precio es de (-0.20), siendo uno de los sectores con mayor sensibilidad de respuesta a los cambios en los precios relativos de la energía. Si bien el crecimiento esperado de la demanda de energía en la industria resulta inferior a otros sectores, es importante considerar que el consumo de este sector representa el 17% del consumo total de energía y se espera que en 2050 representara el 19%. En este contexto el crecimiento del consumo del sector industrial tendrá mayores impactos en términos del consumo de combustibles y de las emisiones de GEI.

En efecto, la producción de manufacturas es uno de los principales demandantes de combustibles de origen fósil. Del total del consumo de combustibles el gas natural es el principal energético que más se utiliza, con cerca de 34%, seguido de la electricidad[17] con 28%, el coque de petróleo[18] con 10% y el diesel con 3.1% SENER (2009a). De estos

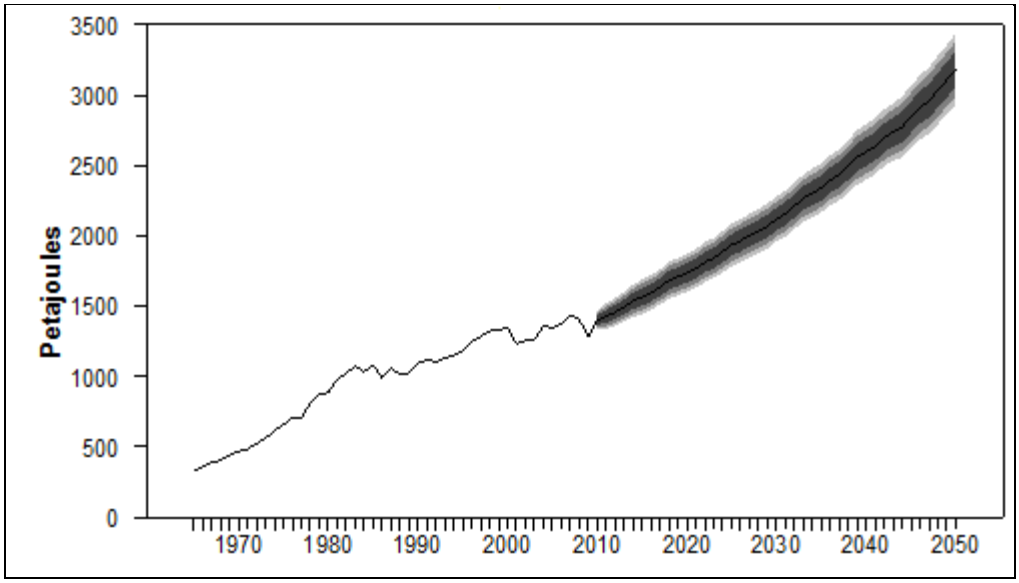
[17] El gas natural está formado por una mezcla gaseosa que se extrae junto con el petróleo crudo. Para utilizarlo es necesario separar los líquidos y el azufre que están asociados a este combustible y la electricidad es la energía producida por electrones en movimiento.

[18] El coque de petróleo se obtiene de la refinación del petróleo. Su forma es sólida y porosa compuesta aproximadamente de 92 por ciento de carbono y 8 por ciento de ceniza. Existen dos tipos, el coque sin calcinar o verde que contiene residuos muy volátiles y el coque calcinado el cual es poco poroso con alta densidad y resistencia. Ambos son utilizados principalmente en la industria.

combustibles el gas natural es el que ha tenido una mayor relevancia en su desempeño ya que su tasa de crecimiento promedio anual ha sido de casi 7% desde 1965 hasta 2006.

Gráfica 22

Escenario base por sectores
Consumo de energía: sector industrial



En el documento "Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2009-2024" (SENER, 2009a), se estima que la demanda de gas natural en el sector industrial mostrará una tendencia creciente para los próximos 15 años con una tasa media anual de 2.9% y el coque de petróleo con un 2.5% anual, siendo ambos los principales combustibles en el sector. Esta expectativa se encuentra vinculada al desempeño esperado de la actividad económica del sector industrial a lo largo de todo el periodo prospectivo. El escenario base generado por el modelo econométrico es compatible con las tasas reportadas por la SENER, sobre la demanda de energía y de combustibles. Por otra parte, el intervalo estimado de crecimiento a un nivel de probabilidad del 60% se ubica entre 1.46 y 3.15 por ciento anual como límite inferior y superior, respectivamente. Se estima que el consumo de gas natural por parte del sector industrial crecerá 376.8 mmpcd entre 2008 y 2024. Se prevé que será el tercer sector de mayor consumo de este combustible, después del sector eléctrico y petrolero, contrario a que su volumen de consumo aumenta, su participación en el total nacional disminuirá al

pasar de 14.2% en 2008 a 12.5% en 2024 de la demanda total de gas natural, como resultado del crecimiento económico esperado de 2.0% en este sector.

El gas natural seguirá siendo el combustible de mayor consumo en las actividades industriales de nuestro país. Con ligeros incrementos a lo largo de todo el periodo, se espera que se mantenga el proceso de sustitución de combustóleo por gas natural, debido a su mayor eficiencia y menores precios. Su participación promedio se estima en 50.2% con una tasa media de crecimiento anual de 2.0%. Aun cuando la demanda de gas natural represente más de la mitad de la canasta de combustibles del sector, se estima una dinámica importante en el crecimiento anual de otros combustibles entre 2008 y 2024. La demanda de carbón crecerá 3.5% en el periodo citado y a partir de 2011 se consolidará como el segundo combustible más importante en el sector, además el gas LP y el coque de petróleo aumentarán su demanda en 2.9% y 2.5%, respectivamente, con lo que el ritmo de crecimiento anual de los tres mencionados dentro del sector será superior del gas natural, en tanto que el uso de combustóleo seguirá en descenso como consecuencia de los mayores costos y la sustitución por otros combustibles.

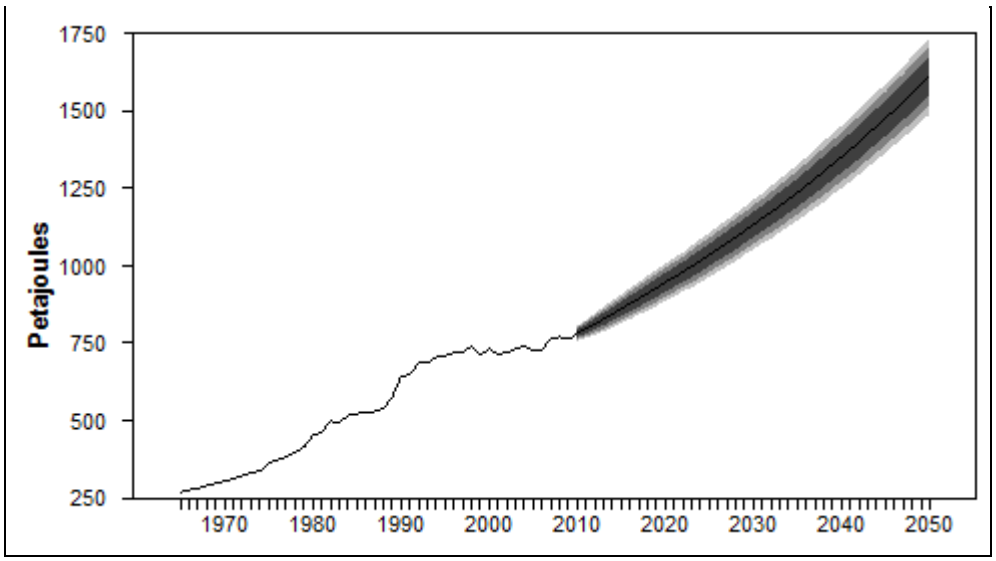
Demanda de Energía en el Sector Residencial

El sector residencial muestra una estabilidad en la demanda de energía, y no se espera un crecimiento acelerado en este sector, la trayectoria estimada muestra un crecimiento promedio de 1.90% anual, este resultado es compatible con el documento “Prospectiva Gas LP 2008-2024” (SENER, 2009), donde se menciona que debido a la introducción de los calentadores solares de agua, así como por la mayor eficiencia ante la renovación de estufas y calentadores de agua convencionales se obtendrá una disminución en los requerimiento energéticos en el sector residencial. Aunado a lo anterior, el desarrollo en el nivel actual de la 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 de energía. Sin embargo, en el documento “Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024” (SENER, 2009b), se menciona

que el sector residencial mostrará un crecimiento en su demanda por energía eléctrica una tasa promedio anual del 3.9% y en 2024 representará el 26.4 % de las ventas totales de electricidad. De hecho, un mayor ritmo de crecimiento de la economía podría elevar la demanda de energía residencial a su límite superior de 2.37% anual, de acuerdo a la simulación estocástica. Lo cual significaría que en 2050 la demanda de energía en este sector representaría hasta un 20% sobre el escenario base, presionando principalmente la demanda de electricidad. En contraste, el límite inferior indica una tasa de 1.42% anual, tasa compatible con una reducción de la intensidad energética de 1.5% anual, con base en lo que se ha registrado históricamente en los últimos 20 años. Por tanto un mayor esfuerzo en la eficiencia en el uso de la energía en tasas de 1.5 a 2 por ciento lograría ahorros importantes en el consumo residencial de energía de hasta 30% al 2050 respecto al escenario base. Pero en los últimos cinco años se ha observado un estancamiento en el desacoplamiento entre energía y producto, y además se ha revertido la tendencia descendente, así que existe una mayor probabilidad de que el consumo de energía se ubique en un rango de 1.90 y 2.37 por ciento anual.

Gráfica 23

Escenario base por sectores
Consumo de energía: sector residencial

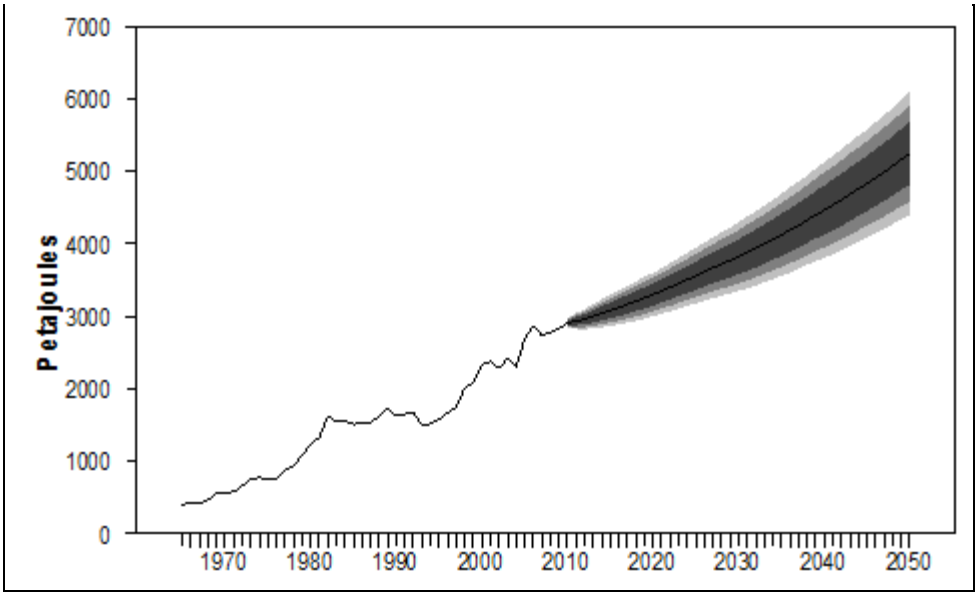


Demanda de Industrias Energéticas

En el escenario base las industrias energéticas constituyen el segundo sector en importancia en la demanda de energía a nivel nacional (Gráfica 24) y se espera que en 2050 este sector concentré el 30% de la demanda total. Así la tasa de crecimiento generada por el modelo indica que se ubicará en 1.585% anual de 2010 a 2050. Es importante señalar que, las industrias energéticas, en términos de su demanda de combustibles, se concentran básicamente en combustóleo, con 39 por ciento, y gas natural, con 24 por ciento, utilizados en la generación de energía eléctrica. Se estima que las industrias energéticas incrementaron sus emisiones de CO_2 a una tasa de 3.7 por ciento, anual de 1992 a 2002 (INE, 2006), pasando de un nivel de 106 mil Gg de CO_2 en 1992 a un total de 152 mil Gg en 2002. Este sector contribuye aproximadamente con el 31 por ciento del total de emisiones de CO_2 del país. Adicionalmente entre 2000 y 2009 la tendencia de la intensidad energética es ascendente; registrando un crecimiento promedio anual de 1%, así que no se han logrado avances importantes en el uso eficiente de la energía, lo cual presionará el requerimiento energético del país, así como de los combustibles fósiles.

Gráfica 24

Escenario base por sectores
Consumo de energía: industrias energéticas



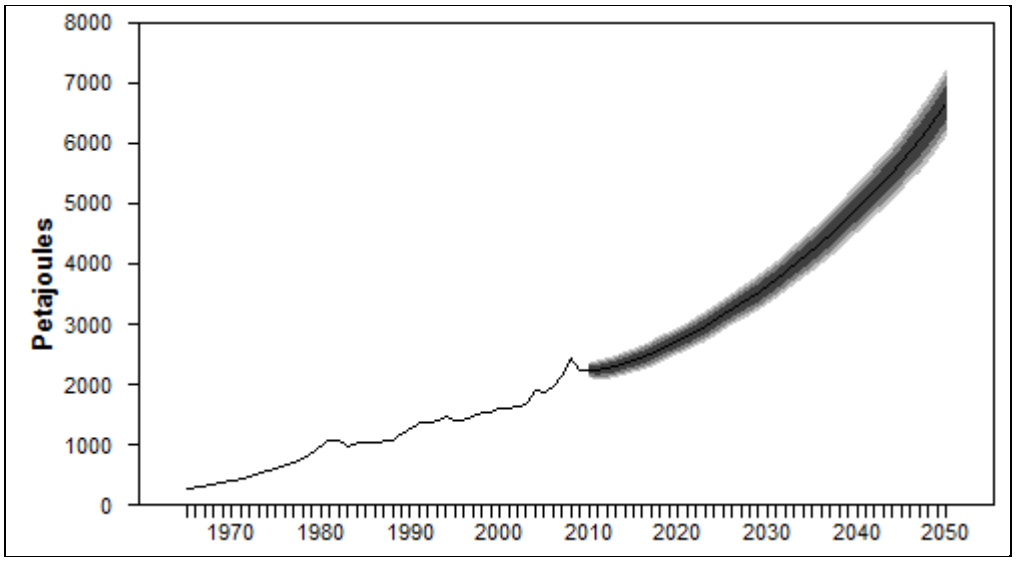
La simulación sobre la trayectoria de la demanda de energía en las industrias energéticas (Gráfica 24), indica que con mayor probabilidad el crecimiento en su consumo se ubicara en un rango de 0.89 a 2.28 por ciento anual para el periodo de análisis. El límite superior muestra un ritmo de crecimiento similar al observado en la última década (2.16), periodo en que también se ha registrado un aumento en la intensidad energética de 1% anual, de tal forma que si las condiciones actuales para este sector se mantienen hasta 2050, la demanda de energía en 2050 representaría un 31% superior al escenario base. Este resultado muestra la importancia de avanzar en la innovación tecnológica en esta industria que resulta fundamental para la generación, producción y distribución de energéticos. Con esas acciones se puede lograr una reducción importante a una tasa de 0.89%, es decir, un ahorro en el consumo de energía de hasta 24% respecto al escenario base en el año 2050.

Demanda de energía en el sector transporte

El transporte es una actividad fundamental en las economías modernas. Sin embargo, existen también externalidades negativas asociadas al transporte, representando el mayor emisor de GEI y de distintos contaminantes. Ello tiene consecuencias importantes en términos de costos ambientales y de salud, esto debido a que el consumo de energía del sector transporte se basa en el uso intensivo de combustibles de origen fósil como la gasolina y el diesel. En el caso mexicano el consumo de energía en el sector transporte está compuesto por un 64 por ciento de gasolinas y un 27 por ciento por diesel. Así, bajo un escenario de crecimiento sostenido la demanda de energía en este sector, está aumentando en 2.78% anual de 2010 a 2050, ello debido a su baja sensibilidad en los precios relativos (0.15) y su elasticidad unitaria respecto al ingreso (1.134). Así que la energía usada en el transporte sigue la misma trayectoria que el producto de la economía.

Gráfica 25

Escenario base por sectores
Consumo de energía: sector transporte



El escenario base es consistente con las prospectivas de la Secretaria de Energía. En efecto, el documento "Prospectiva de petrolíferos 2010-2025" (SENER, 2010), menciona que durante el período 2010-2025 se estima que el parque vehicular crecerá a una tasa anual de 4.7%, es decir, un incremento de 26 millones de automóviles en quince años. Al finalizar el período, la estructura del parque vehicular estará conformada principalmente por automotores a gasolina, los cuales representarán 95.6% del total de vehículos. Se espera que el consumo de gasolinas, aumentara a un ritmo de 2.9% anual entre 2010 a 2025, considerando que será el principal combustible en el transporte. Esta proyección es similar a la generada por el modelo (2.78%) para el consumo total del sector. Destaca en el documento de la SENER (2010), que su proyección considera la vigencia de dos normas oficiales que regularán el rendimiento mínimo de combustible en vehículos nuevos, así como una serie de políticas de aprovechamiento sustentable en los usos finales de la energía, con lo cual se pretende generar ahorros sustanciales para el país en el mediano y largo plazo.

No obstante, en la última década se observa que el consumo de energía del transporte creció a una tasa de 3.6% anual y la intensidad energética también muestra una tendencia

ascendente a un ritmo de 2.4%, indicando que el sector muestra un reto importante en la eficiencia en el uso de combustibles. En este contexto, el límite superior, que se obtiene de la simulación (Gráfica 25) registra un tasa de crecimiento del insumo de energía en el sector de 3.67% anual, que es compatible con la evolución reciente. Este nivel indica que de no concretarse las estrategias definidas en el documento de SENER (2010) y si la eficiencia promedio en el parque vehicular no cambia o se ubica por arriba de su trayectoria tendencial, el uso de combustibles (principalmente de la gasolina), en el transporte, podría generar una fuerte presión en el consumo de energía. Se estima que en 2050 ese aumento significaría un 41% superior al escenario base, que de hecho representa el porcentaje más alto de los sectores.

El resultado de las proyecciones nacional y por sectores se resume el Cuadro 5, donde se reportan las tasas de crecimiento promedio anual por sector y los límites inferior y superior, generados en la simulación estocástica. Los resultados muestran que los sectores transporte, industria e industrias energéticas ejercerán una mayor presión en la demanda de energía. De hecho se espera que los tres sectores concentren el 86% del consumo nacional. En este mismo contexto, este conjunto de actividades resulta de gran importancia en la actividad económica del país. Así, por ejemplo, las industrias básicas de metales se ubicarán como industrias de alta demanda energética. En la industria química el gas natural continuará siendo uno de los insumos más importantes en los procesos de producción para la generación de energía térmica y vapor. En la rama de productos metálicos, maquinaria y equipo se estima un crecimiento en la demanda y el dinamismo de las ramas de carrocerías, motores, partes y accesorios para vehículos automotores propiciará una mayor demanda de gas natural. Adicionalmente, se tendrán presiones por parte de las industrias del vidrio, papel y cartón, imprentas y editoriales, que emplean el gas natural en la generación de vapor para los sistemas de secado, principalmente.

Cuadro 5

Escenarios de crecimiento en el consumo de energía 2010-2050

(Tasas de crecimiento promedio anual %)

Escenario base	**Límite inferior**	**BASE**	**Límite superior**
Consumo Nacional de Energía	2.15	2.81	3.47
Sector Agropecuario	1.87	2.71	3.55
Sector Comercial	2.59	3.56	4.52
Sector Industrial	1.45	2.30	3.15
Industrias Energéticas	0.88	1.58	2.28
Sector Residencial	1.42	1.89	2.37
Sector Transporte	1.89	2.78	3.66

Como se ha mencionado, el transporte es un factor relevante en las actividades económicas. Los resultados muestran que su demanda de energía, cuya fuente principal de combustibles es la gasolina, se mantendrá con un ritmo de crecimiento acelerado, y la aplicación de medidas como políticas de precio o una mayor eficiencia en el uso de la energía no permitirán reducir significativamente su crecimiento hacia el futuro. Adicionalmente la generación de energía eléctrica también pude ser un limitante al crecimiento económico, de hecho en el documento "Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024" SENER (2009b) se precisa que para logar el abastecimiento de la demanda de energía eléctrica será necesario realizar importantes inversiones para contar con la capacidad de generación y transmisión de energía eléctrica requerida por el país. En la prospectiva se espera reducir en 4.1% la participación de la tecnología de ciclo combinado durante el periodo 2009-2024. Para lograrlo se requerirá promover y orientar la capacidad libre hacia fuentes alternas al gas natural, como pueden ser las fuentes renovables (eólicas, hidroeléctricas menor y mayor, geotermia y biomasa, entre otras). En este contexto la estrategia de reducción del consumo de energía requiere instrumentar políticas coordinas en varios sectores, pero a su vez es necesario que los resultados de estas políticas no afecten negativamente el crecimiento económico.

6.2 Escenarios con aumentos en el consumo de energía

Un segundo escenario a evaluar es estimar las trayectorias del consumo considerando un incremento permanente en los precios relativos de la energía. Este segundo escenario considera el uso de los precios como instrumento de política para influir en el consumo de energía de los sectores. También es importante considerar que un aumento en los precios de la energía, siendo este factor un insumo en la producción, tendrá implicaciones en el crecimiento de la economía reforzando aún más el efecto sobre la demanda. Así, el modelo permite estimar el ahorro potencial en el consumo de energía derivado de un aumento en los precios relativos de la energía, pero también el impacto en la actividad económica medido como puntos porcentuales del PIB, generado en el escenario base.

Los resultados de la simulación se resumen en el Cuadro 6. Las reducciones más importantes se observan en las industrias energéticas, el sector comercial y el sector agropecuario. En caso de adaptar una política de incremento en los precios relativos de la energía en una magnitud de 1% promedio anual, se podría logar una reducción del 2.56% en la tasa de crecimiento del consumo de energía. Los resultados muestran que el consumo total de energía solo responde ante un incremento permanente de los precios de la energía del 3% anual. Se espera que el sector agropecuario sea sensible a los precios de la energía, bajo un escenario de aumento de precios de la energía del 3% anual, la tasa de crecimiento sería inferior al escenario base a un ritmo de 1.34%. La respuesta en la demanda de energía, por parte del sector comercial, ante un aumento sostenido de los precios relativos del 1%, implicaría una tasa de crecimiento anual en el consumo de energía de 2.77%, es decir, no se observa una disminución importante en relación al escenario base, debido a que es uno de los sectores con una elasticidad ingreso superior a uno (Cuadro 2), por lo que la demanda de energía aumentará más que proporcionalmente al que registre el PIB, si no se implementan acciones para desacoplar sus trayectorias, por lo que representa un trade off el lograr reducciones importantes en el consumo de energía, sin afectar el crecimiento económico del propio sector.

Cuadro 6

Escenarios de crecimiento en el consumo de energía 2010-205

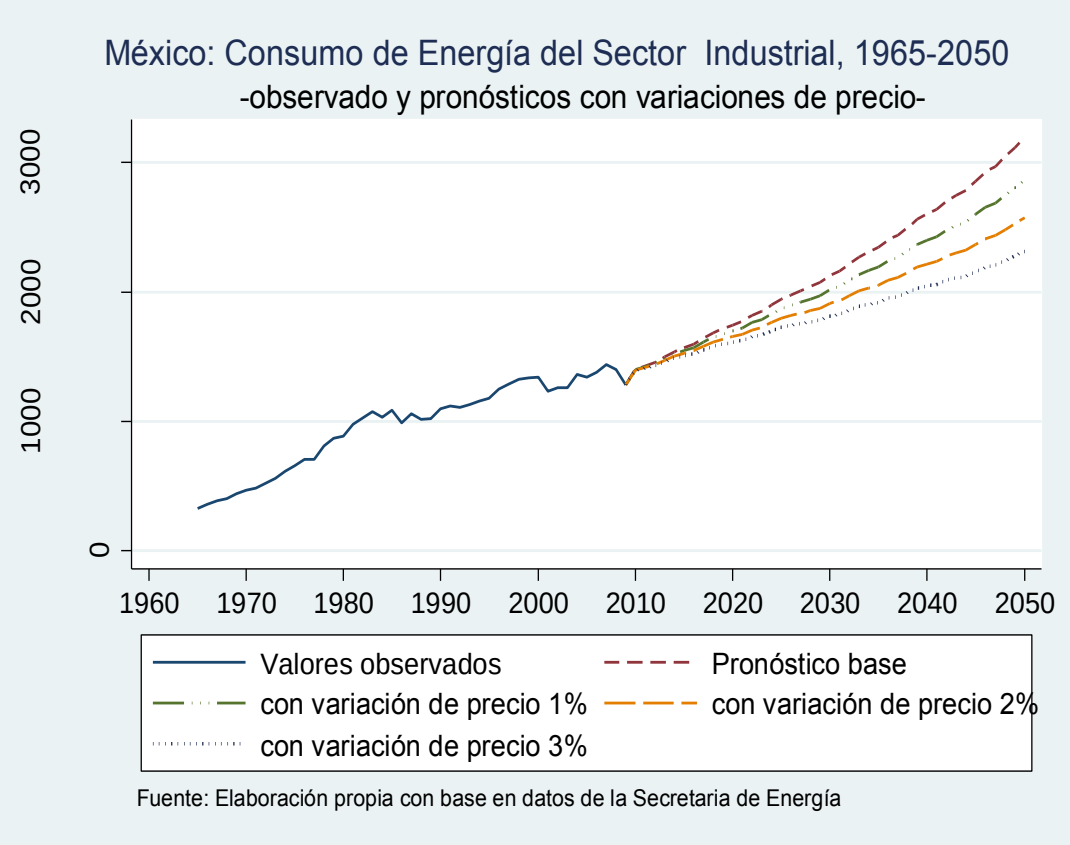
(Tasas de crecimiento promedio anual %)

	BASE	Aumento en 1%	Aumento en 2%	Aumento en 3%
Consumo Nacional de Energía	2.81	2.56	2.32	2.08
Sector Agropecuario	2.71	2.25	1.79	1.34
Sector Comercial	3.56	2.77	1.99	1.22
Sector Industrial	2.30	2.03	1.75	1.48
Industrias Energéticas	1.58	1.30	1.01	0.72
Sector Residencial	1.90	1.71	1.53	1.34
Sector Transporte	2.78	2.52	2.26	2.00

Así, bajo un escenario de aumento sostenido en los precios relativos el consumo de energía, el sector industrial reportaría una tasa de crecimiento de hasta 1.48% con un aumento del 3% en precios. Utilizando los precios relativos para incidir en el consumo de energía en las industrias energéticas, no se logra una reducción importante en el ritmo de crecimiento de su demanda. En este sentido, como se mencionó, las innovaciones tecnológicas en esta industria resultan fundamentales para regular el consumo (Grafica 26).

Gráfica 26

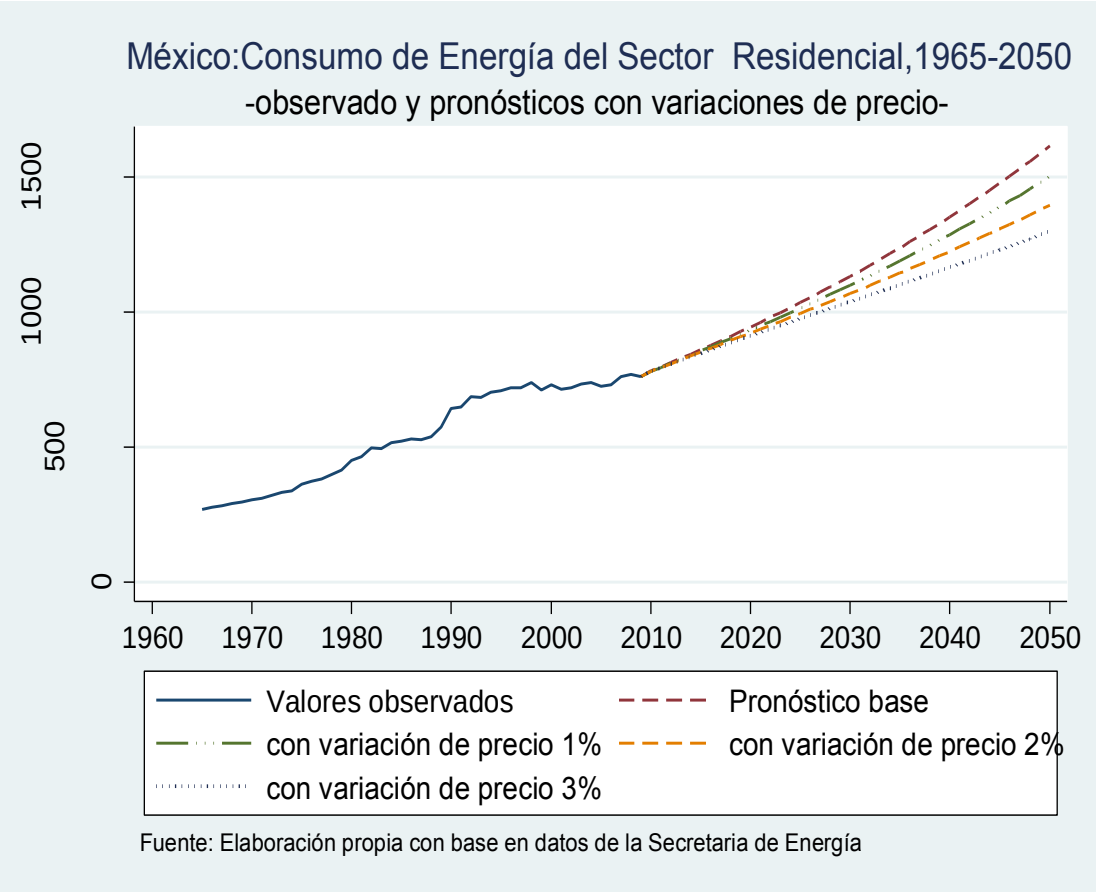
Escenarios con aumentos de precios de energía



El sector residencial es altamente sensible al nivel de actividad económica y menos sensible al cambio en los precios por lo tanto no se observa una reducción importante en las tasas de crecimiento de su demanda de energía.

Gráfica 27

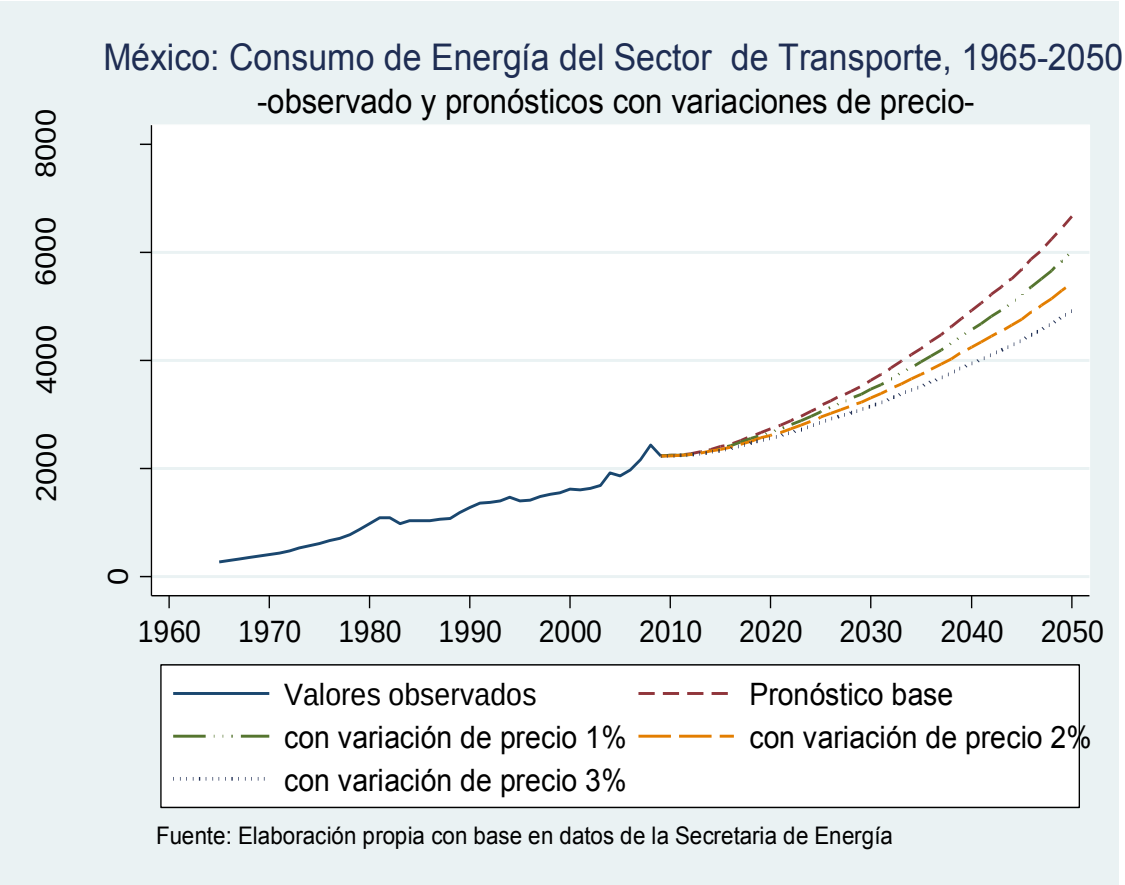
Escenarios con aumentos de precios de energía



El transporte muestra una baja sensibilidad en los precios relativos, un aumento constante de los precios de hasta 3% anual solo implicaría un descenso de 0.78 puntos porcentuales en las tasas de crecimiento de su consumo de energía.

Gráfica 28

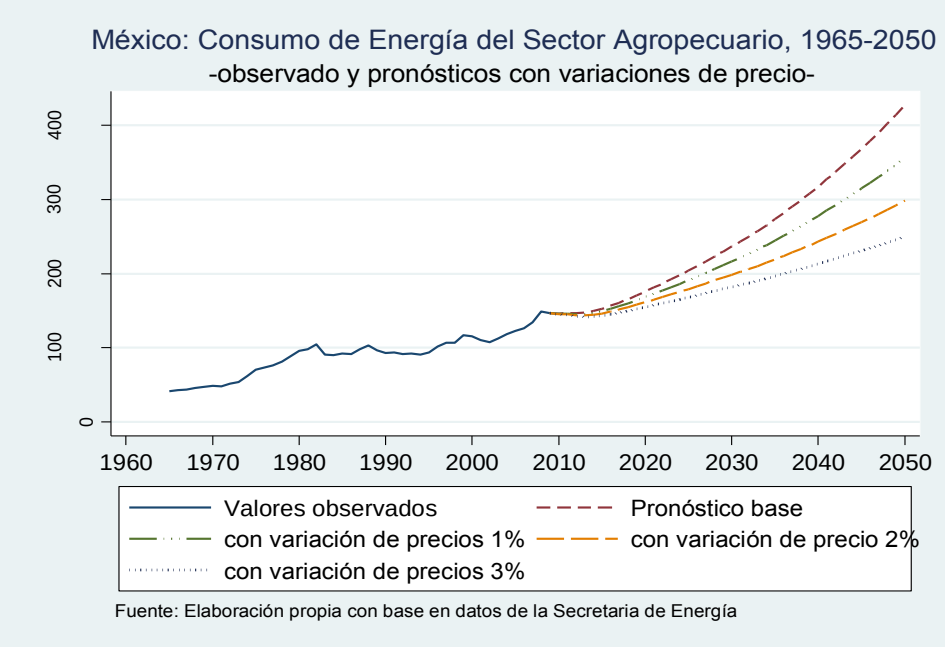
Escenarios con aumentos de precios de energía



En el siguiente conjunto de gráficas se presentan las trayectorias de la demanda de energía de los sectores agropecuario, comercial y de industrias energéticas, los cuales presentan una mayor sensibilidad con relación al crecimiento que al de los precios del producto que al de los precios. Así, bajo un escenario de aumento sostenido en los precios relativos y de acuerdo a la teoría económica, el consumo se reducirá ante un incremento en los precios; en el caso del consumo de energía en el sector agropecuario se obtendría una tasa de hasta 1.34% con un aumento del 3% anual en precios; mientas que en el caso del sector comercial en el mismo rango de aumento de precios (3%) se obtendría una tasa de 1.22 y por último en el sector de las industrias energéticas se reportaría una tasa del 0.72%.

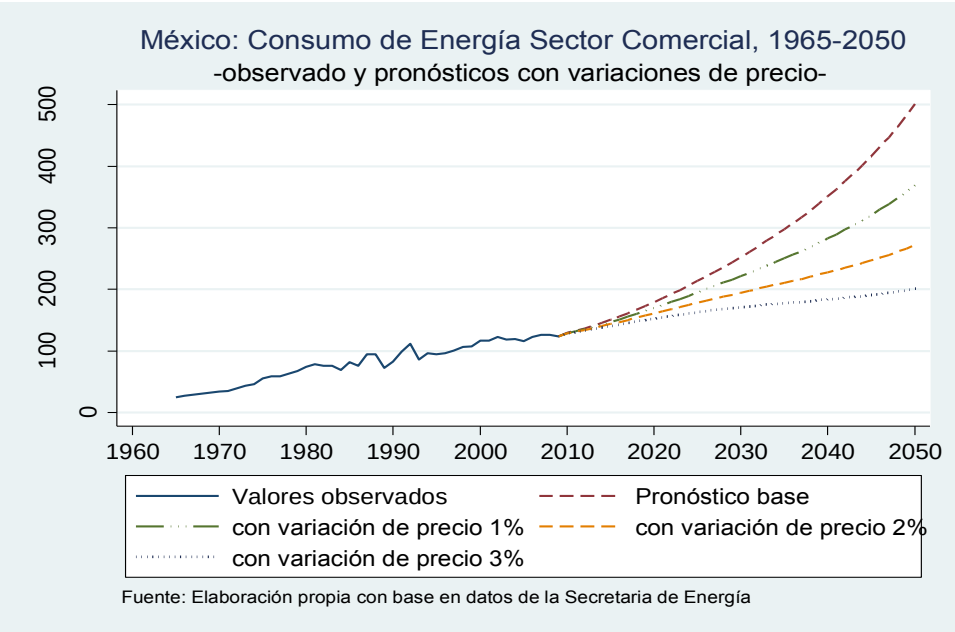
Gráfica 29

Escenarios con aumentos de precios de energía



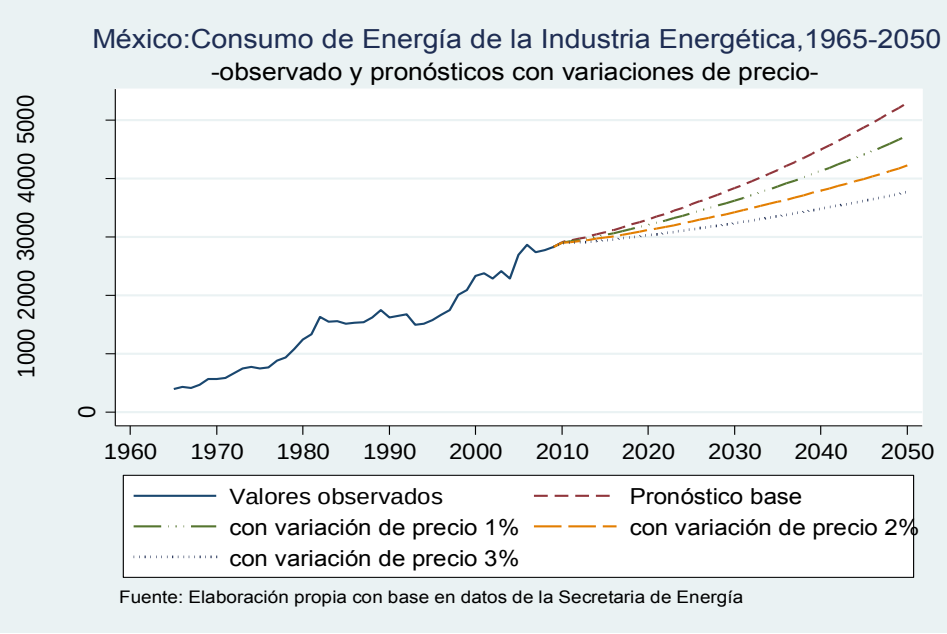
Gráfica 30

Escenarios con aumentos de precios de energía



Gráfica 31

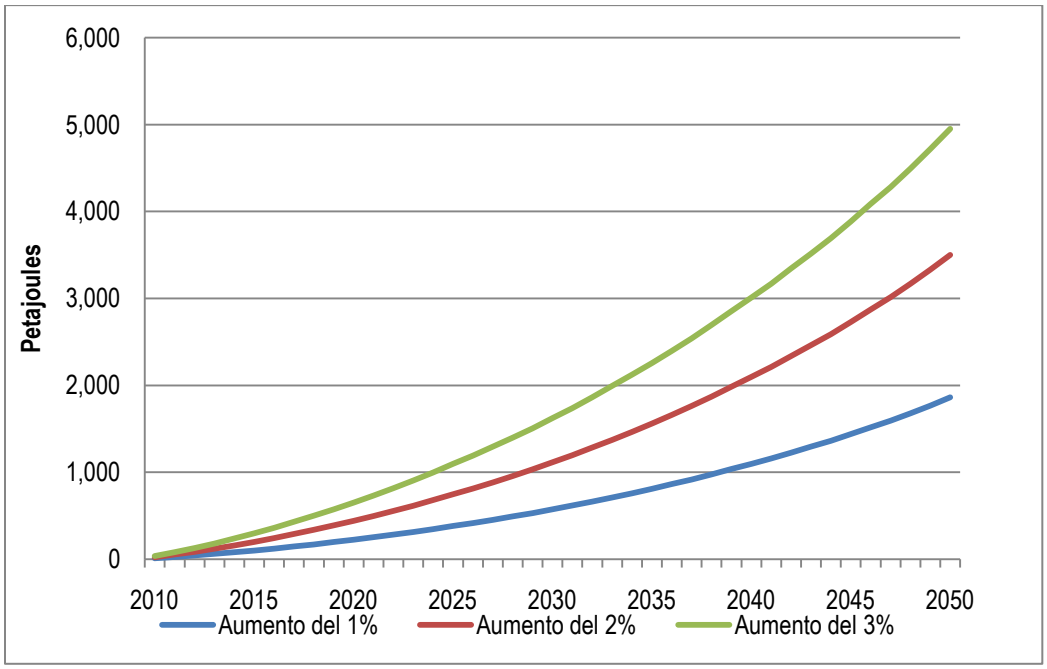
Escenarios con aumentos de precios de energía



La demanda de energía responde a los cambios en los precios de la energía, con diferentes grados de sensibilidad en los sectores. No obstante, es posible estimar el impacto agregado en el consumo nacional de energía. Así en la Gráfica 31.1 se muestra el ahorro[19] en términos de unidades energéticas ante el aumento sostenido de los precios reales de la energía. Bajo el primer ejercicio de un incremento del 1%, asumiendo que la tasa de inflación promedio entre 2010 a 2050 fuera del 3%, los precios de la energía deberían crecer cada año 4%. Esto implicaría una disminución en el consumo de energía, que en 2020 podría ser sólo del 2% respecto al escenario base, y a partir de 2024 se aprecia un aumento progresivo en el ahorro de energía, que en el 2050 representaría el 11% del escenario base. El segundo ejercicio consiste en aumentar los precio reales en 2% anual, esto significaría (bajo el supuesto de una inflación promedio de 3% anual) que los precios de la energía deberían incrementarse en una tasa del 5% anual. Logrando un ahorro importante de hasta el 10% respecto al escenario base a partir de 2030 (Gráfica 31.1)

[19] El ahorro se define como la diferencia entre la trayectoria generada por el escenario base y la trayectoria resultante de un aumento en los precios relativos de la energía.

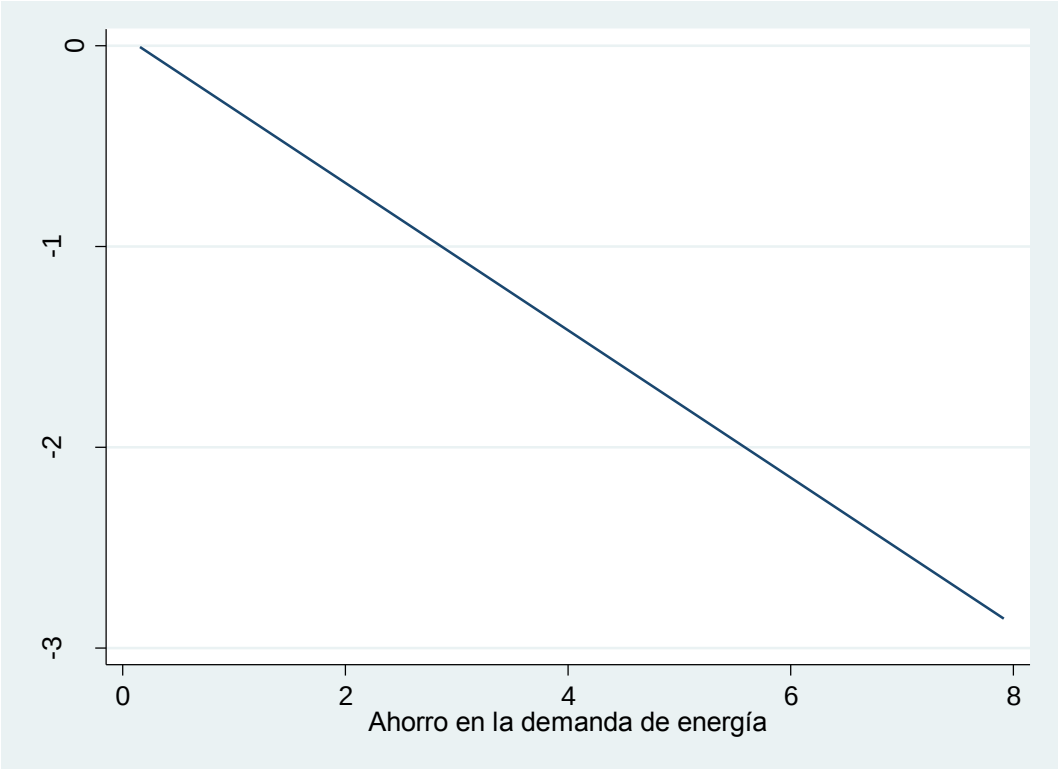
Gráfica 31.1.
Estimación de los ahorros de energía ante el aumento de los precios relativos de la energía



Finalmente un ejercicio de un aumento en los precios relativos del 3% anual es un aumento bastante drástico, ya que implicaría que los precios nominales de la energía deberían crecer 6% anual asumiendo que la inflación se ubicara en 3% anual. Con el fin de tener una idea de las implicaciones de esta medida, si consideramos que en 2010 el precio promedio de la electricidad es de 1.0732 pesos por kilowatt/hora ($/kWh) en este ejercicio en 2020 el precio debería ser de 1.93 $/kWh, en 2030 a 3.5 $/kWh, en 2040 a 6.32 $/kWh y en 2050 hasta 11.41 $/kWh, es decir se requiere un crecimiento exponencial de los precios. Este aumento podría generar un ahorro de hasta 14% respecto al escenario base en 2030 y de 28% en 2050. No obstante este ahorro, el aumento en los precios relativos de la energía tendría impactos negativos en la actividad económica, siendo un insumo de la producción, el encarecimiento de este factor implicaría una disminución de la producción. En este sentido, se realizó un ejercicio de simulación entre los ahorros estimados en la demanda de energía, basados en aumento de precios, y el modelo econométrico del PIB que mide el impacto de los precios de la energía en la actividad económica.

La Gráfica 31.2, muestra la relación estimada entre el ahorro que se podría obtener en el consumo de energía y la pérdida del PIB, ambos expresados como puntos porcentuales respecto al escenario base, esta relación en inversa entre ambas variables. Así, los resultados muestran que un ahorro en el consumo de energía de 2.5 puntos porcentuales, es compatible con un aumento de 1% en los precios relativos de la energía pero se perderían 0.9 puntos porcentuales del PIB, debido a la fuerte asociación entre consumo de energía y trayectoria del PIB. Un aumento del 2% en precios relativos de la energía en promedio logaría una disminución de 4.9 puntos porcentuales en la demanda de energía pero también implicaría, una reducción del PIB de 1.7 puntos porcentuales. En el escenario de aumento del 3% el ahorro en el consumo de energía llegaría hasta 7.2%, pero la perdida en el PIB sería bastante elevada, de 2.6 puntos porcentuales respecto al escenario base.

Gráfica 31.2.
Relación ahorro de energía y pérdida del PIB
(Porcentaje respecto al escenario base)



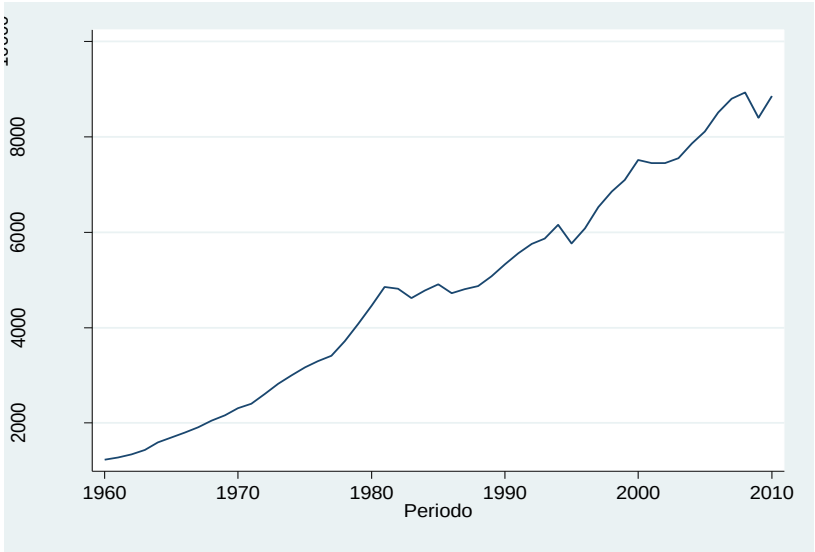
7. Evolución de la economía mexicana 1960-2010

La evolución de las principales variables macroeconómicas de una economía es el resultado de una compleja matriz de interrelaciones[20] que incluye tanto patrones regulares como diversos shocks y relaciones no lineales o con rezagos y cambios estructurales. Los factores que explican los ritmos de crecimiento de las economías son ciertamente múltiples e incluyen elementos económicos, sociales, demográficos, variables institucionales, así como la disponibilidad de recursos naturales (De Gregorio y Lee, 2003; Ros, 2004; Mankiw, Romer y Weil, 1992; King y Levine, 1993, Gallup y Sachs, 1998 y Nordhaus, 2006). No obstante ello, es posible identificar un patrón regular en la trayectoria de crecimiento de una economía cuya información es relevante para predecir su comportamiento hacia el futuro. En particular el movimiento de la tendencia observada, en el pasado, revela la dirección futura de la serie, y en este contexto la econometría ha desarrollado una serie de técnicas de suavizamiento, tendencia determinística y ciclo, conocidas como técnicas de series de tiempo, que buscan identificar patrones regulares en la serie con el fin de proyectar su comportamiento futuro.

En principio, la información histórica disponible para el caso de la economía mexicana, muestra que la trayectoria del PIB en el periodo de 1960 a 2010 registra una tendencia ascendente con importantes cambios en la pendiente de dicha tendencia como se aprecia en la Gráfica 32. Estos cambios están asociados a episodios de crisis económica combinados con etapas de recuperación o acelerado crecimiento. En las décadas de los sesenta y setenta la economía mostro un crecimiento sostenido a una tasa promedio de 6.5% anual durante esos 20 años. Este dinamismo es explicado, principalmente, por el aumento de la inversión pública y privada, el incremento de las exportaciones de productos primarios y el endeudamiento externo que permitió el financiamiento del gasto público, generando un incremento de la demanda agregada.

[20] Existen procesos de retroalimetación importantes tales como que la tasa de fertilidad disminuye con el aumento del ingreso per cápita o la educación que es necesario considerar.

Gráfica 32
Evolución del PIB de la economía mexicana 1960-2010



Fuente: elaboración propia con base en información de INEGI

Sin embargo, el año de 1982 representa un punto de inflexión en el crecimiento de largo plazo de la economía mexicana, que se identifica como un cambio en la pendiente de la tendencia, hacia un menor ritmo de crecimiento. A principios de los ochenta la economía mexicana presentaba entonces signos de importantes desequilibrios macroeconómicos como: excesivo endeudamiento externo, creciente déficit fiscal, presiones inflacionarias y una estructura productiva dependiente de las exportaciones petroleras (Cárdenas, 1996). Con la caída de los precios internacionales del petróleo y el incremento en las tasas de interés internacionales, se generaron condiciones de crisis y estancamiento económico durante toda la década de los ochenta. Así, por ejemplo, entre los años de 1981 y 1988, prácticamente la economía se estancó, reportando una tasa promedio de crecimiento de solo 0.06%, además de un fuerte proceso inflacionario, un déficit fiscal creciente, altas tasas de desempleo y una restricción en las fuentes de financiamiento externo. Se trata de una etapa, identificada como una etapa de "crisis estructural" ya que el modelo basado en las exportaciones petroleras no generó las condiciones de crecimiento sostenido de la economía.

Posterior a esta etapa se inicia un nuevo periodo, caracterizado por importantes reformas estructurales, realizadas por el gobierno mexicano, orientadas a reducir la participación del

estado en la economía y a lograr una mayor orientación de la economía hacia los mercados internacionales. Este proceso de reformas culmina con la entrada en vigor del Tratado de Libre comercio de Norteamérica en 1994. Los cambios para transitar hacia una economía orientada a las exportaciones, permitieron una recuperación de la actividad económica agregada en los últimos 15 años, sobre todo entre 1997 y 2006, con una tasa promedio de crecimiento de 3% anual. No obstante, en el periodo reciente (2005-2010) la tasa de crecimiento se ha reducido a 1.7% anual.

En una perspectiva histórica las tasas de crecimiento de la economía mexicana se han reducido de manera importante en las últimas dos décadas. En el Cuadro 5 se muestran los estadísticos básicos de la tasa de crecimiento del PIB total de la economía mexicana por décadas. La media de las tasas se ha reducido a más de la mitad en comparación con las décadas de los 60 y 70, pasando de 6.5 por ciento a 1.71 por ciento, la diferencia son 4.8 puntos porcentuales que ha perdido la economía mexicana en términos de su capacidad de crecimiento. Asimismo, las tasas máximas de crecimiento son cada vez más bajas, actualmente las tasa más altas se ubican en 5.5 por ciento, en tanto que las tasas mínimas se han ubicado en el eje negativo cada vez más alejadas de cero.

Cuadro 7
Estadísticos de las tasas de crecimiento del PIB

Periodo	Promedio	Desv. Est.	Max	Min
1961-1970	6.49	1.81	10.63	4.00
1971-1980	6.83	2.39	9.70	3.39
1981-1990	1.88	3.97	8.77	-4.20
1991-2000	3.56	3.73	7.26	-6.23
2001-2010	1.71	3.39	5.50	-5.94

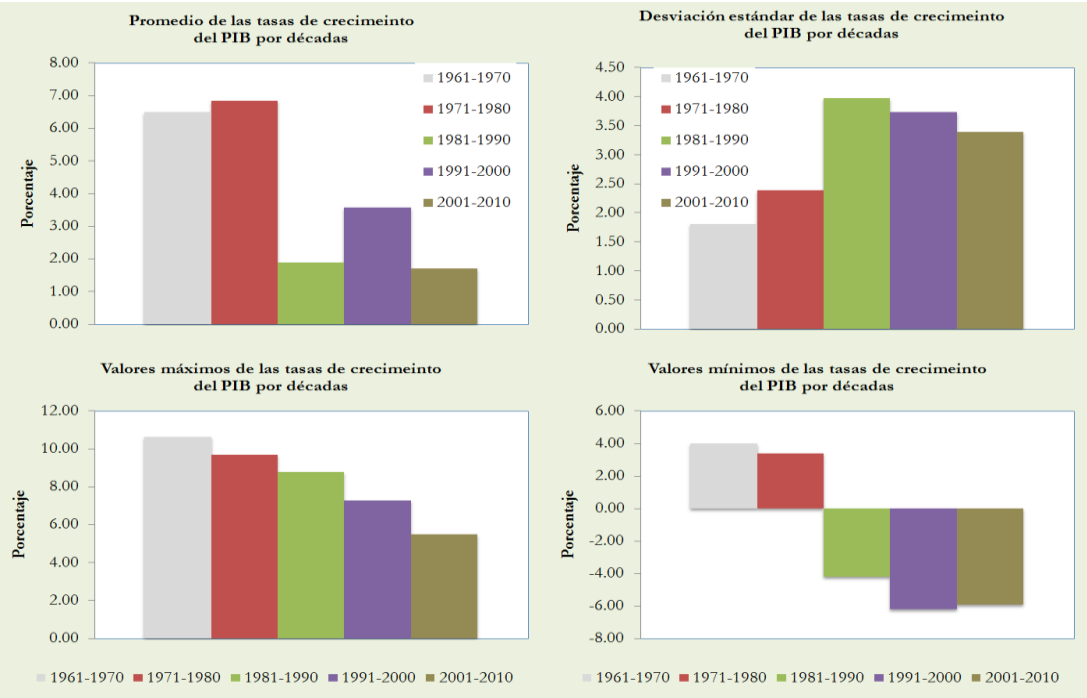
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

La dispersión de las tasas de crecimiento, aproximado por la desviación estándar, indica que desde la década de los 80s se registra una mayor volatilidad del crecimiento, por lo tanto un mayor nivel de incertidumbre sobre la evolución de la economía. En la Gráfica 33 se muestra la evolución de los estadísticos básicos, que asumiendo que existe una

distribución asociada a los valores de las tasas de crecimiento, el promedio se ha desplazado a valores más pequeños, ha aumentado la dispersión y se presentan tasas negativas con mayor frecuencia. Esto indica que el potencial de crecimiento de la economía mexicana se ha reducido de manera importante, pero principalmente en la última década, asociado a factores como la productividad laboral, la dinámica del capital, el sistema financiero, la competitividad en los mercados internacionales, el nivel de educación y las características del mercado interno (Kehoe y Ruhl, 2010, Hanson, 2010).

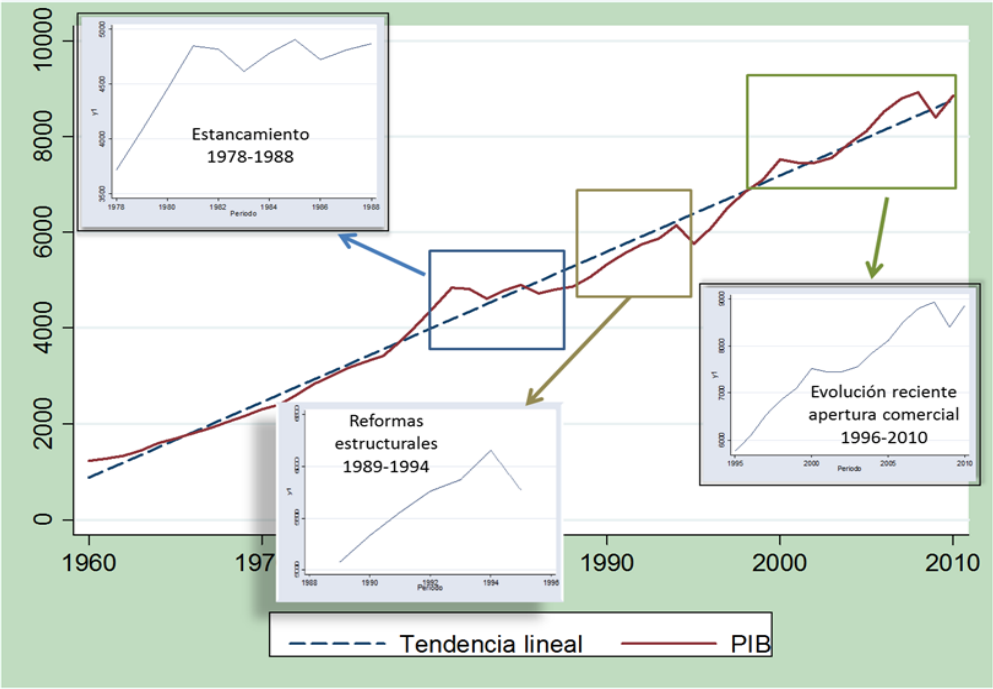
En la segunda mitad del siglo XX se pueden identificar cuatro etapas claramente diferenciadas en la economía mexicana (Gráfica 34). En la primera, durante las décadas de los sesenta y setenta la trayectoria del Producto Interno Bruto (PIB) registró un crecimiento sostenido; la segunda que se puede ubicar entre los años de 1983 a 1989, se caracterizó por un estancamiento en el crecimiento, alta inflación y desempleo, la tercera asociada al periodo de reformas estructurales 1989-1994, llevadas a cabo principalmente en las áreas financiera y comercial, así como de una política de privatizaciones, como parte de una estrategia de desarrollo orientada hacia el mercado con el propósito de revertir los efectos de la crisis de la deuda y recuperar el crecimiento económico. Finalmente la cuarta etapa, que comprende los últimos 15 años, con una economía basada en la apertura comercial, apoyada principalmente en fuentes externas como inversión extranjera directa, turismo, remesas y exportaciones, pero que en comparación a los periodos anteriores, su tasa de crecimiento promedio tiende a ser menor, indicando una disminución en la capacidad de crecimiento a largo plazo de la economía mexicana.

Gráfica 33
Evolución de los estadísticos básicos de la tasa de crecimiento del PIB



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Gráfica 34
Etapas recientes de la economía mexicana



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Considerando la evolución histórica de la economía mexicana y dada la falta de certidumbre sobre las reformas internas, así como las condiciones de la economía mundial, la construcción de trayectorias de crecimiento a largo plazo resulta en una tarea compleja y con cierto nivel de incertidumbre. La metodología utilizada en el presente apartado es una combinación de distintos tipos de instrumentos de análisis econométrico: crecimiento tendencial, modelos de series de tiempo y modelos de corrección de errores. El crecimiento tendencial, a través del uso de filtros sobre las series de tasas de crecimiento del PIB y su distribución de frecuencias, permite ubicar los rangos en los cuales se ubicará, con mayor probabilidad, el crecimiento del PIB a largo plazo. Por su parte, los modelos de series de tiempo constituyen una herramienta ampliamente utilizada en la elaboración de pronósticos. Mediante la aplicación de este tipo de técnicas es posible identificar los patrones regulares que ha presentado una variable en el tiempo, y con base en esta información se puede realizar un pronóstico a partir únicamente de la historia del proceso estocástico identificado en dicha serie de tiempo. Finalmente los modelos de corrección de errores garantizan consistencia entre la información estadística y una hipótesis teórica sobre los determinantes del crecimiento a largo plazo.

Esto significa que se utilizan modelos econométricos basados en hipótesis teóricas sobre los determinantes de crecimiento económico a largo plazo, que permiten obtener simulaciones de las trayectorias del PIB hacia el futuro, asumiendo valores sobre un conjunto de variables exógenas. Estos modelos pueden utilizarse para realizar simulaciones de algunas políticas económicas y para pronosticar el comportamiento de ciertas variables bajo escenarios económicos alternativos, sobre todo respecto de la evolución de la economía mundial. Además, estos modelos presentan un marco metodológico para analizar el conjunto de información estadística disponible sobre los comportamientos sistemáticos de estas economías facilitando su comparación e investigación conjunta. Finalmente, la combinación de los distintos resultados permite reducir el grado de incertidumbre sobre las proyecciones de la evolución de la economía mexicana.

8. Construcción de trayectorias futuras de crecimiento

La metodología utilizada en la estimación de las trayectorias de crecimiento considera la construcción de bandas o rangos de crecimiento que sirven de referencia en la construcción de los pronósticos de crecimiento. La construcción de intervalos de pronóstico o de densidad de pronóstico es una técnica, que ha tenido un gran uso en años recientes (Wallis, 2003), permitiendo calcular la probabilidad con la cual se ubicará un valor futuro de la variable de interés. En efecto, en el caso de la densidad de pronóstico, a diferencia de un pronóstico puntual o de un solo valor futuro, se describe el nivel de incertidumbre del pronóstico (Tay y Wallis, 2000) generando un rango en el cual se espera fluctuarán los valores futuros. En este sentido, se cuenta con una aproximación a los valores que con mayor probabilidad se espera se registren hacia el futuro

En esta primera aproximación, se usa el registro histórico de las tasas de crecimiento del PIB, y de manera particular el crecimiento potencial, para ubicar los rangos de crecimiento donde se ha ubicado la economía mexicana. Esto facilita la realización de pronósticos de largo plazo a través de ubicar rangos de crecimiento en vez de hacer énfasis en valores específicos por año. En este sentido, se realiza un análisis de los componentes no observados de la serie del PIB, denominados como un componente permanente y un componente transitorio,[21] en donde el primero se representa como un componente tendencial o no-estacionario y el segundo como una serie estacionaria[22].

De este modo, una serie observada (Y_t) como es el caso del PIB, puede descomponerse[23] en un componente tendencial que incluye los movimientos regulares de largo plazo y un componente cíclico representado por las desviaciones temporales de las tendencias de largo plazo (Maddala y Kim, 1998 y Woodward y Grey, 1995):

[21] Excluyendo los patrones estacionales.
[22] Un proceso sin tendencia normalmente consiste en una serie que tiene media y varianza constante o estacionaria mientras que el filtro de una serie utiliza operadores particulares que elimina ciertas puntos o características de las series (Canova, 2007, pp. 70).
[23] Excluyendo el componente estacional.

(1) $$Y_t = Y_t^P + Y_t^C$$

Donde Y_t es una serie observable, Y^P_t es una tendencia o señal y Y^C_t es un componente irregular (ruido) que se asocia al comportamiento cíclico y que muestra un proceso estable en el tiempo. Es también común considerar que los movimientos de largo plazo incluyen una tendencia determinística o estocástica indicando la presencia de un comportamiento no estacionario (Patterson, 2000 y Brooks, 2003). En este sentido, el análisis del proceso estocástico del PIB requiere considerar las características de sus tendencias; en particular, la presencia de comportamientos no-estacionarios o estacionarios y la presencia de tendencias determinísticas (TD_t) o estocásticas (TS_t) (ecuación (2)) (Harvey, 1993).

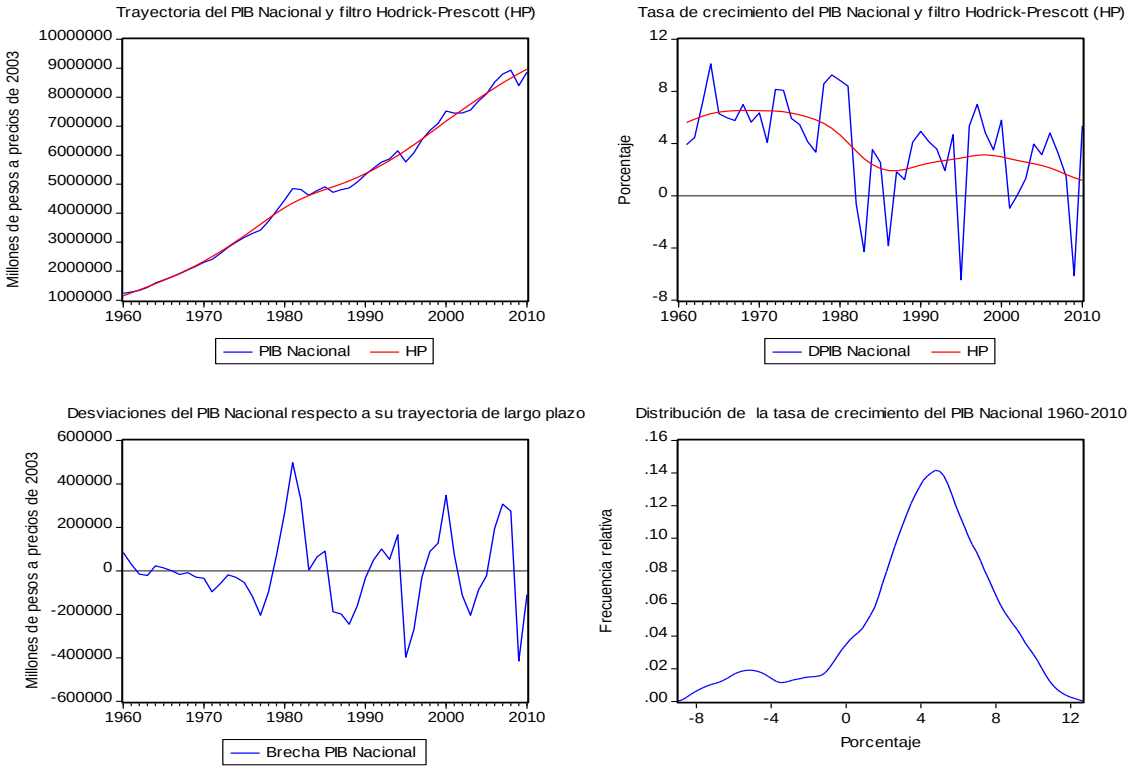
(2) $$Y_t^P = TD_t + TS_t$$

Estos procesos de descomposición de los componentes no observables pueden realizarse utilizando diversas técnicas en donde no existe un consenso sobre la mejor especificación del modelo o forma de estimación (Maravall, 1999), no existe garantía de unicidad en el proceso de descomposición y donde además, distintos modelos tendenciales generan diferentes componentes cíclicos con el riego potencial de generar resultados espurios (Watson, 1986; Maravall, 1999 y Mills, 2003). En este sentido, la aplicación simultánea de un amplio espectro de métodos de descomposición de las series permite obtener evidencia robusta sobre estos patrones regulares. Asimismo, es importante, de ser posible, diferenciar entre un proceso estocástico basado en una tendencia determinística (*trend series process* –TSP-) o estocástica (*differenciate series process* –DSP-) ya que es común que los modelos TSP sobredimensionan la magnitud del ciclo y reducen la importancia de la tendencia, mientras que los modelos DSP hacen lo contrario (Mills, 2003). Ello permite entonces identificar con mayor precisión los movimientos "genuinos" de largo plazo de las series.

En principio el crecimiento potencial se puede obtener a partir de aplicar el filtro Hodrick-Prescott (1997) a la trayectoria del PIB, con lo cual se genera una serie suavizada que muestra la tendencia de la variable, que en el ámbito de la teoría económica esta tendencia representa la trayectoria de crecimiento que es compatible con el nivel de factores de la

producción, como el capital y el trabajo, y por lo tanto se mantiene relativamente estable a lo largo del tiempo.

Gráfica 35
Tendencia y ciclo de largo plazo del PIB 1960-2010



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Así, las desviaciones observadas respecto a esta trayectoria de largo plazo se pueden identificar como fases de expansión o contracción de la actividad económica, por lo tanto es una forma de identificar el ciclo de largo plazo de la economía mexicana. En la Gráfica 35 se aprecia que en la década de los 60s y 70s el crecimiento de la economía fue compatible con su tendencia de largo plazo, en tanto que en el periodo 1978-1981, se aprecia que las exportaciones petroleras generaron un fuerte impulso en la trayectoria del PIB. Desde mediados de la década de los ochenta las tasas de crecimiento disminuyen de manera importante y con una mayor volatilidad, con periodos de construcción mucho más recurrentes por lo cual las desviaciones del crecimiento potencial son mucho más fuertes.

El filtro Hodrick-Prescott (1997) aplicado a las tasa de crecimiento del PIB permite aproximar la tasa de crecimiento potencial de la economía mexicana, y así es posible ubicar el límite inferior y el límite superior en los cuales con mayor frecuencia se ha ubicado el crecimiento potencial de una economía, con base en su registro histórico.

Crecimiento Potencial

La trayectoria del producto puede descomponerse en un componente que representan la trayectoria de equilibrio o tendencial y en otro componente asociado a las oscilaciones cíclicas o de corto plazo (Hodrick y Prescott, 1997). Ello puede representarse por medio del filtro Hodrick-Prescott (Hodrick y Prescott, 1997):

(a.1) $y_t = g_t + c_t$

Donde y_t representa a la variable económica respectiva, g_t es el componente de crecimiento tendencial y c_t es la parte cíclica. Considerando que el componente de crecimiento varía suavemente a lo largo del tiempo, esta ruta puede aproximarse por la suma de los cuadrados de su segunda diferencia, representado como:

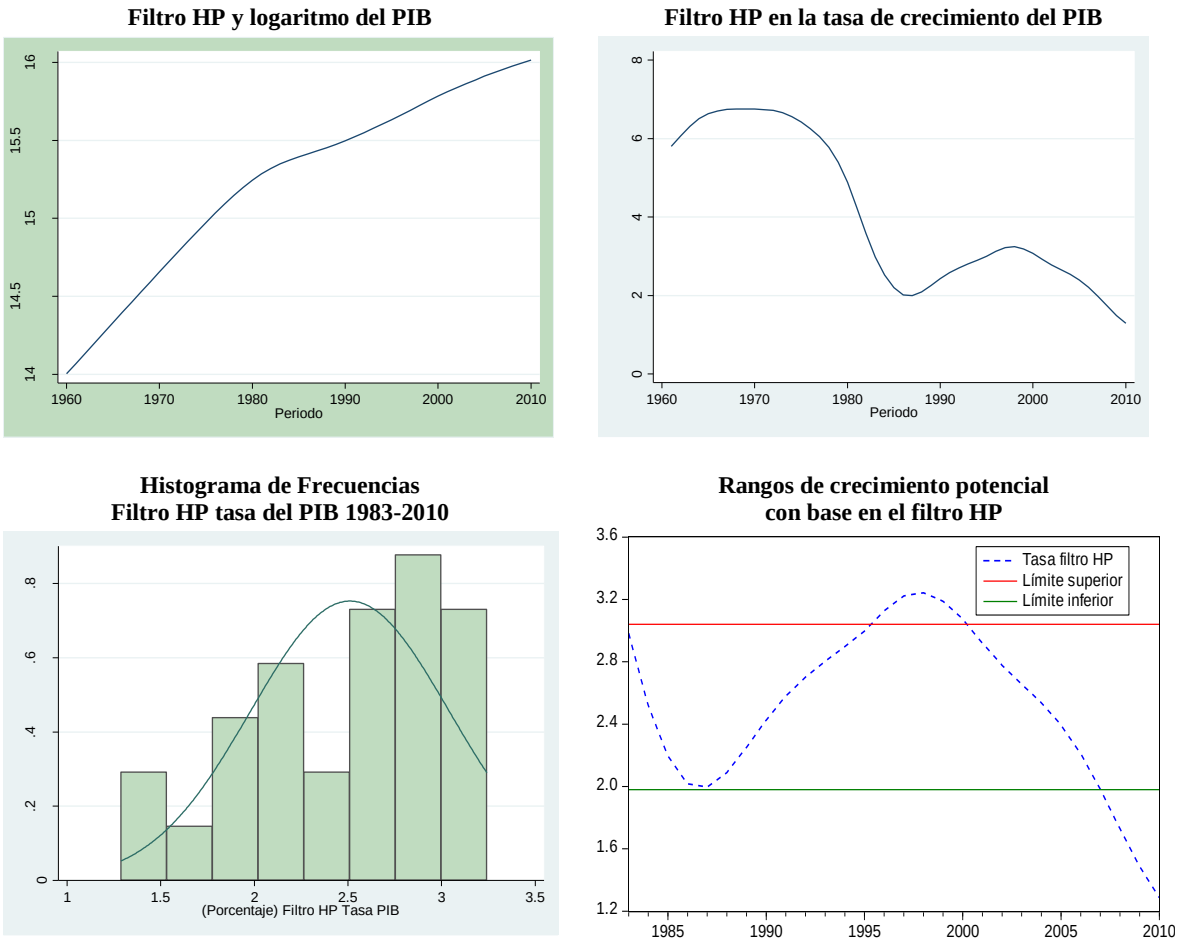
(a.2) $$\underset{g_t}{\mathrm{Min}} \left\{ \sum_{t=1}^{T} c_t^2 + \lambda \sum_{t=1}^{T} \left(g_t - g_{t-1} - \left(g_{t-1} - g_{t-2} \right) \right)^2 \right\}$$

Donde $c_t = y_t - g_t$ y λ representa un número positivo, el cual penaliza normalmente el componente de variabilidad de las series. En el extremo g_t corresponde a una tendencia de tiempo lineal (Hodrick y Prescott, 1997, pp. 3) y T es el número de datos disponibles. La descomposición de la variable en un componente tendencial y otro cíclico, permite identificar determinados patrones de comportamiento sistemático en el crecimiento tendencial de largo plazo de la variable. Por otra parte, aplicando el filtro Hodrick-Prescott a las tasas de crecimiento de las series es posible identificar umbrales de crecimiento de las variables, por medio de identificar la trayectoria de las tasas de crecimiento y su distribución de probabilidad.

La Gráfica 36 muestra los resultados de aplicar el filtro HP a la serie del PIB en escala logarítmica, cuyo resultado indica un claro cambio en la tendencia de largo plazo a partir del año de 1982, que puede interpretarse como un cambio estructural en la economía mexicana que modificó de manera permanente la evolución del PIB. La serie resultante de aplicar el filtro HP a las tasas de crecimiento del PIB muestran el dramático cambio en el crecimiento potencial de la economía mexicana, pasando de valores de alrededor de 6

porciento a un rango de entre 2 y 4 porciento, y si consideramos una distribución de frecuencias sobre el filtro HP de la tasa del PIB, el valor con mayor frecuencia es el de 2.5%, es el valor al cual la economía mexicana podría crecer a largo plazo.

Gráfica 36
Filtro HP en la tasa de crecimiento del PIB



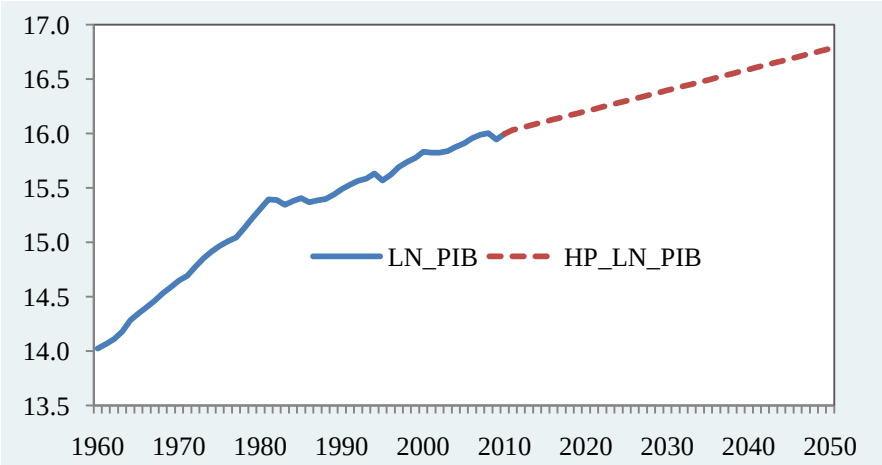
La estimación del crecimiento potencial resulta una guía importante al evaluar las trayectorias del PIB a largo plazo, ya que tiene por objeto medir la capacidad productiva del país. Cuando la economía muestra una fase de expansión el PIB real supera al PIB potencial, y viceversa cuando hay una fase de contracción el PIB real se ubica por debajo de su trayectoria potencial. Así, el crecimiento potencial representa el límite máximo sostenible de crecimiento a largo plazo, determinado por el nivel de tecnología disponible y las preferencias de los agentes. Asimismo, la brecha entre el PIB potencial y el real genera

cambios en los precios de los bienes restableciendo el equilibrio. Desde esta perspectiva, el PIB potencial se puede definir como el nivel del PIB, compatible con una inflación estable (Carnot, et. al., 2005)

La evolución de la trayectoria de crecimiento, muestran una alta volatilidad en las últimas tres décadas. No obstante, es posible hacer algunas inferencias generales sobre sus trayectorias de largo plazo utilizando el filtro de Hodrick Prescott (1997) en las tasas de crecimiento. En la Gráfica 37 se presenta la trayectoria esperada del crecimiento potencial del PIB, calculada sobre el filtro HP de la tasa del PIB, el cual indica el rango donde se podría ubicar la tasa media de crecimiento hacia el futuro. Esto facilita la realización de pronósticos de largo plazo a través de ubicar rangos de crecimiento, en vez de hacer énfasis en los valores específicos por año. En el caso mexicano, el análisis muestra que en un rango de 2 y 3 por ciento se podría ubicar el crecimiento potencial, de no considerarse cambios sustanciales en la estructura de la economía, es decir, es un escenario base.

Con base en la información generada por el filtro HP, que permite obtener información sobre el componente permanente de la serie del PIB, es posible realizar una primera proyección sobre la evolución del crecimiento potencial de la economía, que se puede considerar como un escenario base o un valor de crecimiento mínimo, como se representa en la Gráfica 23, que muestra la trayectoria esperada del crecimiento potencial el cual se podría ubicar en 2 a 3 por ciento en el periodo de 2011 a 2050.

Gráfica 37
Trayectoria esperada del crecimiento potencial de la economía mexicana (escala logarítmica)



8.1 Modelo de series de tiempo

Si bien el uso de métodos para "filtrar" la serie ayuda a identificar el crecimiento potencial de una economía, el poder predictivo de este indicador es bastante limitado, y en consecuencia se recurre al uso de diferentes técnicas econométricas, así como de un amplio rango de indicadores, en la elaboración del pronóstico. Así, los modelos de series de tiempo constituyen una herramienta ampliamente utilizada en la elaboración de pronósticos. Mediante la aplicación de este tipo de técnicas es posible identificar los patrones regulares que ha presentado una variable en el tiempo, y con base en esta información realizar pronóstico a partir únicamente de la historia del proceso estocástico identificado en dicha serie de tiempo.

La especificación de los modelos de series de tiempo en la mayoría de los casos, no tiene un fundamento en la teoría económica. Sin embargo, representan una de las principales herramientas del análisis económico. En efecto, la teoría de series de tiempo se basa en su descomposición de la serie en: tendencia, ciclo, componente estacional e irregular (Mills, 1990, Pindyck y Rubienfeld, 1998). Asimismo, un modelo de serie de tiempo explica los patrones en los movimientos pasados de una variable y usa esta información para predecir su comportamiento futuro.

En este sentido, debe considerarse que el pronóstico de cualquier variable incluye varias partes donde destacan: i) un componente determinístico representado por la constante o por una tendencia y ii) un componente del término de error (Hendry y Clements, 1999). De este modo, la obtención de pronósticos adecuados requiere de modelar satisfactoriamente a estos dos elementos. La metodología de modelos de series de tiempo (Box y Jenkins, 1970) desarrolló una propuesta en la modelación que combina el proceso de ruido blanco y la información de la propia serie. En realidad es una combinación lineal entre los valores pasados de la propia serie y una suma ponderada de procesos de ruido blanco, denominado como modelos ARIMA (autorregresivos, integrados de media móvil).

La metodología de Box y Jenkins (1970) proponen la especificación de los modelos ARIMA por medio de las siguientes fases: **Identificación**. Es un proceso empírico por medio del cual se obtiene una aproximación del número de parámetros estructurales del proceso ARIMA. **Estimación.** Método utilizado para obtener los parámetros del modelo ARIMA. **Evaluación.** Mediante pruebas estadísticas se comprueba la significancia estadística de los parámetros del modelo. Un aspecto relevante es que el modelo debe guiarse por el principio de parsimonia. Finalmente se utiliza el modelo con fines de pronóstico, principalmente, y análisis de intervención.

Modelos de Series de Tiempo

Una serie de tiempo consiste en un conjunto de observaciones de una variable (y_t) con información a intervalos similares de tiempo, t =1, 2,…,T. En general, se espera que y_t y y_{t-1} sean no independientes, con el fin de que se pueda utilizar esta dependencia temporal para obtener un pronóstico de la serie en el periodo t+1. Los modelos ARIMA tienen tres componentes, p, d y q, los cuales describen la relación entre los procesos de ruido blanco o choques aleatorios y la serie de tiempo. El primer componente se refiere al proceso autorregresivo, el segundo al orden de integración o estacionalidad y el tercero al proceso de media móvil de una secuencia de choques aleatorios, cuya especificación es:

(a.1) $$\phi(L)(1-L)^d y_t = \varepsilon_t \theta(L)$$

Donde:

(a.2) $$\phi(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \ldots - \phi_p L^p, \quad \phi_p \neq 0$$

(a.3) $$\theta(L) = 1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \ldots + \theta_q L^p, \quad \theta_p \neq 0$$

Las ecuaciones (a.2) y (a.3), representan a los polinomios de rezagos cuyas raíces están fuera del circulo unitario, además se cumple que $\varepsilon_t \sim iid(0,\sigma_\varepsilon^2)$, con $E(\varepsilon_t)=0$ y $Var(\varepsilon_t)=\sigma_\varepsilon^2$, es decir, es ruido blanco. Un resultado interesante de la definición del proceso ARIMA es que la serie definida como $\Delta^d y_t$ tiende a un proceso ARMA estacionario.

Si bien existen relevantes limitaciones en el uso de los modelos de series de tiempo (Carnot, et. al., 2005), es importante señalar que en general los modelos econométricos utilizados con fines de pronóstico, sirven de guía para delinear el posible comportamiento del valor de una variable en el futuro, y por lo tanto contribuyen a reducir el nivel de incertidumbre sobre su evolución a futuro. En efecto, la aplicación de modelos estocásticos es una técnica ampliamente utilizada en la elaboración de pronósticos, para identificar tendencias de largo plazo y la presencia de comportamientos cíclicos o estacionales como es el caso de las series del PIB (Mills, 2003). Esta opción resulta particularmente importante para identificar los componentes de la evolución de las series de las tasas de crecimiento del PIB. En este sentido, este apartado tiene como objetivo principal presentar los resultados de la estimación del crecimiento a largo plazo, basado en identificar los componentes estocásticos de las series y extraer sus principales patrones regulares. Sin embargo, debe reconocerse que persiste en estos modelos un nivel de incertidumbre importante, en particular al realizar proyecciones de muy largo plazo.

8.2 Resultados del modelo de series de tiempo

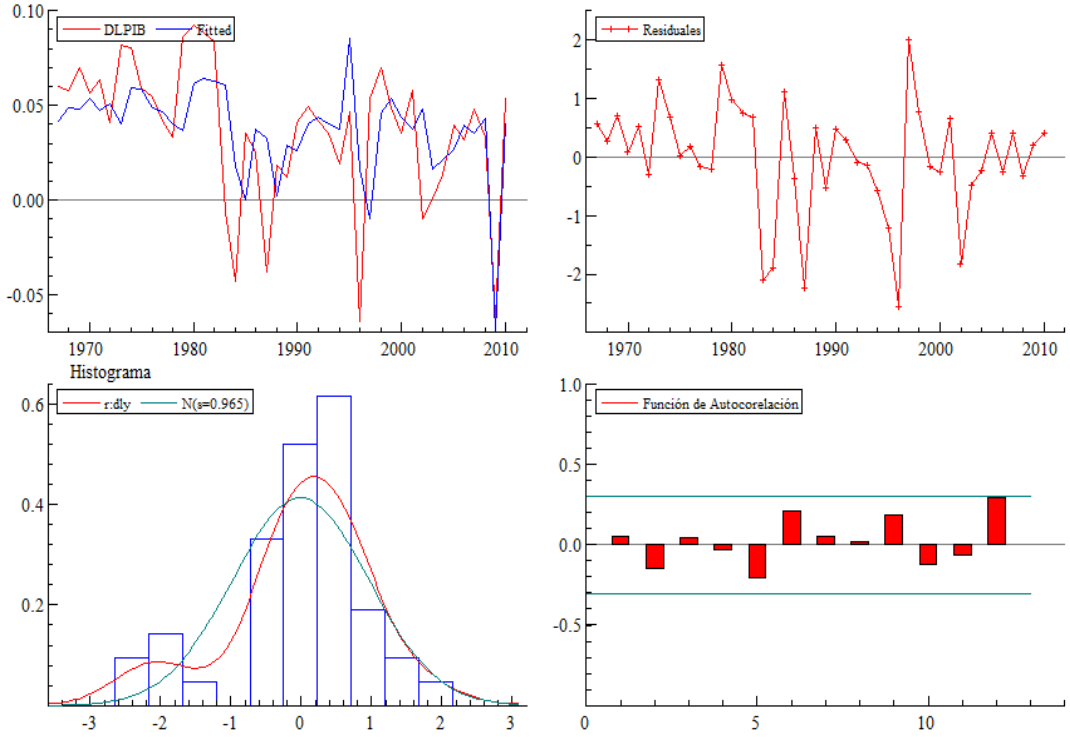
Siguiendo la metodología Box y Jenkins (1970), se consideraron las series del PIB transformadas en logaritmo natural y en primeras diferencias. Los coeficientes estimados de la ecuación corresponden a la tasa de crecimiento del PIB, la especificación buscó eliminar cualquier patrón sistemático en los errores del modelo y en general se observa que el modelo no presenta problemas de autocorrelación y heteroscedasticidad. Sin embargo, es importante señalar que debido a la presencia de cambios estructurales en la series no es posible lograr un alto grado de ajuste, por lo tanto se incluyeron variables dummy.

(3) $\Delta y_t = 0.039 + 0.678*AR(1) + 0.055*D1995_t - 0.104*D2009_t$

t-stad (4.36) (3.15) (1.94) (-3.66)

Pruebas Diagnostico
Normalidad J-B= 3.42[0.18]
Autocorrelación LM (2 rezagos): F = 0.427 [0.665]
Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): F = 0.847 [0.435]
Error Cuadrático Medio: 0.0247
Periodo: 1962-2010

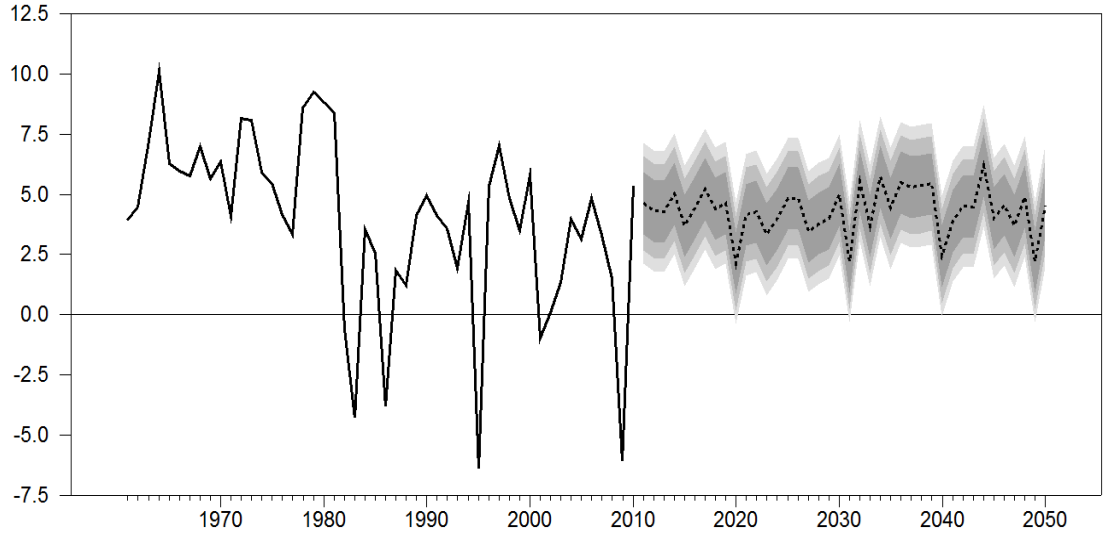
Gráfica 38
Modelo series de tiempo. Valores observados y ajustados



La estimación muestra que la serie sigue un fuerte proceso autorregresivo de orden uno, además de choques aleatorios, lo cual se explica por la fuerte volatilidad observada en la mayoría de las economías, en un contexto de crecimiento inestable. Con base en el modelo de la ecuación (3), de no modificarse las condiciones estructurales de crecimiento o el dinamismo de la economía internacional es difícil esperar tasas reales de crecimiento económico de largo plazo elevadas. Ello puede argumentarse considerando tanto la

experiencia histórica reciente así como las dificultades actuales que se enfrentan para dinamizar la formación de capital y a los escasos impulsos provenientes de la economía mundial, sobre todo en lo que se refiere a la difusión de la tecnología e inversión. La simulación estocástica del pronóstico de la serie de tiempo se reporta en la Gráfica 38, utilizando una distribución normal en la distribución del error de pronóstico. En promedio la tasa de crecimiento reportada es de 3.78% anual, y la simulación muestra valores superiores al 4%, así que muestra un cierto sesgo hacia tasas de crecimiento más altas a las observadas en los últimos 15 años. En la cuadro 8 se reporta los resultados de la distribución de probabilidad sobre el pronóstico de los modelos de series de tiempo, indicando que con un 60% de probabilidad la tasa de crecimiento se puede ubicar entre 2.5 y 5.0 por ciento anual.

Gráfica 39
Simulación estocástica del modelo de series de tiempo

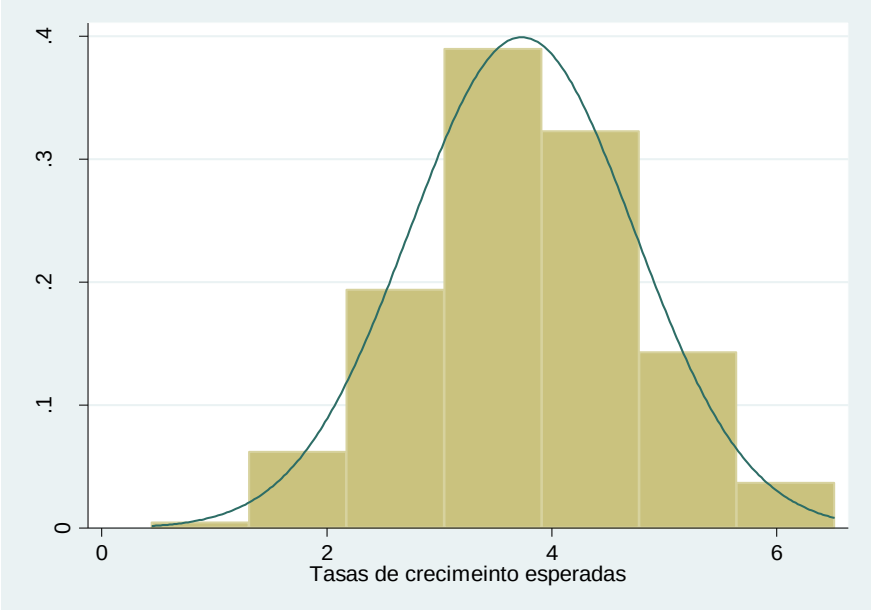


Cuadro 8
Distribución del pronóstico del modelo de series de tiempo

Probabilidad del escenario	Límite inferior	Media	Límite superior
60% de probabilidad	2.5	3.75	5.0
20% de probabilidad	0.2	1.0	1.8
10% de probabilidad	5.1	5.7	6.3

La distribución del pronóstico indica que valores inferiores al 2% son poco probables, así como tasas del 6%, y con una mayor probabilidad las tasas de crecimiento del PIB podrían ubicarse alrededor del 4%, en las próximas cuatro décadas.

Gráfica 40
Distribución del pronóstico del modelo de series de tiempo



8.3 Modelo econométrico

Si bien el uso de métodos para "filtrar" la serie ayuda a identificar el crecimiento potencial de una economía, el poder predictivo de este indicador es bastante limitado, y en consecuencia se recurre al uso de diferentes técnicas econométricas, así como de un amplio rango de indicadores en la elaboración del pronóstico. La construcción de un modelo econométrico y la modelación de las relaciones económicas es ciertamente un proceso complejo donde debe combinarse el uso adecuado de diversas técnicas econométricas con el conocimiento de la teoría económica y de la estructura económica del país que se desea analizar. De esta forma, el modelo econométrico debe ser capaz de capturar un conjunto de relaciones que son, en muchos casos, no lineales, incluyen retardos y son afectadas por factores no sólo económicos sino también sociales y políticos. Como consecuencia de esta

situación no existe una metodología óptima, reglas explícitas o la mejor especificación. Esto implica que debe por tanto aceptarse un margen importante de incertidumbre y la existencia de una retroalimentación entre diversas características estadísticas del modelo econométrico.

De este modo, el objetivo es especificar un conjunto de ecuaciones que permiten mantener una consistencia con la teoría económica y con capacidad para simular el comportamiento real de los datos, considerando las propiedades estadísticas de las series utilizadas. Con esto se pretende disminuir la posibilidad de errores graves de pronóstico al costo de reducir la precisión de las simulaciones de corto plazo. El modelo resultante privilegia el mantener una consistencia con la teoría económica y con la evidencia empírica. En todo caso una mejora substancial de los pronósticos particulares puede obtenerse a través de realizar ajustes en los residuales o en la constante de la ecuación.

Asumiendo la existencia de mercados imperfectos, costos de información y de transacción y rigideces nominales (Walsh, 2003), las variaciones del producto a corto plazo se explican principalmente por cambios en la demanda agregada (Romer, 1986). En efecto, en la mayoría de los casos, los ajustes macroeconómicos de corto plazo parecen responder a modelos del tipo IS-LM o Mundell-Fleming para el caso de una economía abierta. De igual forma, el proceso de globalización ha generado una mayor dependencia de las economías nacionales de los flujos internacionales de capitales y mercancías, por tanto estos factores han adquirido gran relevancia en el crecimiento económico y en las crisis financieras. De manera simplificada estos efectos pueden ser capturados por medio del tipo de cambio real.

Con base en estas consideraciones, para el análisis empírico, se adoptó la siguiente especificación[24]:

3) $$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_2 \Delta Y_{t-1} + \delta[Y_{t-1} - \alpha_1 K_{t-1} - \alpha_2 E_{t-1} + \alpha_3 PRE_{t-1} - \alpha_4 YX_{t-1} - \alpha_5 SR_{t-1}] + u_t$$

[24] Véase el apéndice para una breve descripción de la metodología econométrica.

Donde Y_t representa al producto real, K_t es el capital, PRE_t representa la relación de precios de energía respecto al nivel general de precios, YXt es el nivel de demanda externa aproximado por el PIB de Estados Unidos y SRt es el tipo de cambio real. En este marco de la teoría de crecimiento convencional (Romer, 1996) postula que la trayectoria de crecimiento de largo plazo de la economía depende de la acumulación de capital (Romer, 1986 y Lucas, 1988), en donde los cambios en la productividad del trabajo generan "shocks" de oferta permanentes en su trayectoria y las fluctuaciones transitorias en torno a esta tendencia son explicadas por cambios en la demanda agregada (Romer, 1996). El sector energético tiene una gran importancia en el desempeño de la economía y sus consecuencias negativas en el medio ambiente han repercutido en intensas discusiones sobre las posibles trayectorias y alternativas para controlar el consumo de energía. El tipo de cambio real es una aproximación a los términos de intercambio y el nivel de competitividad en precios.

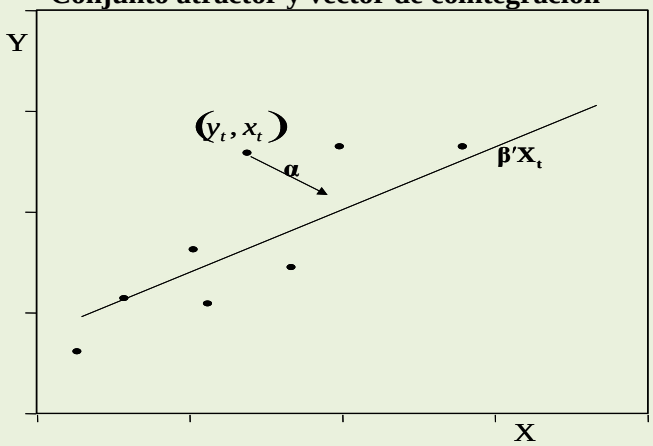
El análisis de las relaciones de largo plazo entre el producto y el conjunto de variables explicativas se realizara con base en la metodología de cointegración y modelo de corrección de errores, utilizando los modelos de vectores autoregresivos (VAR) y el procedimiento de Johansen (1988). En este sentido, la estrategia econométrica busca combinar el uso de técnicas econométricas modernas con la obtención de modelos causales, con sentido económico, que permitían obtener simulaciones y pronósticos relativamente razonables. Asimismo, se espera que los modelos econométricos finales no presenten un sobre-ajuste a los datos del periodo histórico ya que ello implicaría no solo modelar las regularidades de la serie, sino sus componentes aleatorios más importantes. En efecto, es importante señalar que un modelo que reproduce con extrema exactitud el comportamiento histórico de los datos puede tener un mal desempeño en el pronóstico en la medida que se reproduce la trayectoria anterior no sólo con sus componentes regulares sino también con sus componentes más irregulares.

Teoría de la cointegración

En el ámbito de la teoría económica y de la investigación empírica, se asume que existe una relación de largo plazo entre un conjunto de variables de interés. Por ejemplo, en el caso en que dos series no estacionarias tienden a moverse juntas en el tiempo entonces se dice que existe una relación de equilibrio. En este contexto, la teoría de cointegración, como parte de la econometría moderna, ha desarrollado un marco metodológico a través del que se puede comprobar empíricamente la presencia de un conjunto de variables que presentan una relación estable en el tiempo y por tanto identificar una relación de equilibrio. Así, en el caso en que un conjunto de series (que representan variables económicas) cointegran se identifican entonces como un bloque que tiende a moverse simultáneamente en el tiempo lo que puede considerarse como una relación de "equilibrio" (Engel y Granger, 1987).

Las desviaciones respecto a esta tendencia, se definen como un "error de equilibrio", que debe poder representarse como un proceso estacionario, es decir que las desviaciones no son permanentes. Así, estas relaciones de equilibrio expresan los mecanismos y las magnitudes del ajuste de los agentes en la medida en que el modelo de corrección de errores fuerza a las diferentes variables a regresar a su tendencia común ante la presencia de cualquier choque externo (Johansen, 1995).

Conjunto atractor y vector de cointegración



Así, sea el caso de dos variables que definen un vector de series de tiempo $\mathbf{X_t} = y_t, x_t$

(a.1) $$\begin{bmatrix} -\beta_0 & -\beta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_t \\ 1 \\ x_t \end{bmatrix} = \boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}_t = z_t$$

En el caso en que $z_t = 0$ existe entonces una situación de equilibrio de largo plazo que se define como un punto estacionario en donde las fuerzas económicas mantienen a las variables juntas y evitan que se muevan a otro punto (Engel y Granger, 1987; Johansen, 1995). En algunos periodos $z_t \neq 0$ lo que indica una desviación ó error de equilibrio a largo plazo y en el caso en que la relación entre las variables se mantiene a lo largo del tiempo el error de equilibrio representa un proceso estocástico estacionario. De esta forma, se define que el vector X_t está cointegrado, si existe el vector $\beta \neq 0$ tal que es posible identificar una combinación lineal del conjunto de variables, como la ecuación (7), donde z_t es I(0).

Definición. Los componentes de un vector de series de tiempo $X_t = (x_{1t}, ..., x_{nt})$ se dice que están cointegrados de orden CI(d,b) si:

1. Todos los componentes de X_t son integrados de orden I(d).
2. Existe un vector $\beta = (\beta_1,...,\beta_n)$ en el cual la combinación lineal $\beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + ... + \beta_n x_{nt}$, genera que $z_t = \beta' X_t \sim I(d-b)$, sea integrada de orden I(d-b), donde b > 0.

En el caso en que d=1 y b=1 entonces el proceso $z_t \sim I($ resulta estacionario. En el caso en que las series cointegren, el teorema de representación de Granger (1981) establece que es posible especificar un modelo de corrección de errores, que integra a las variaciones de las series y la relación de cointegración, permitiendo, por una parte, analizar la relación de las variables en niveles, o en equilibrio, y por otra estimar un modelo con las propiedades estadísticas adecuadas que aproxima las variaciones de corto plazo de las variables. Por lo tanto, el modelo de corrección de errores integra las dinámicas de corto y largo plazo.

Definición. Un vector de series de tiempo $X_t = (x_{1t}, ..., x_{nt})$ puede ser representado por un modelo de corrección de errores definido como:

(a.2) $$A(L)(1-L)X_t = -\gamma z_{t-1} + u_t$$

Donde $A(0) = I$, $z_t = \beta' X_t$ y $\gamma \neq 0$

Así, la ecuación (a.2) incluye exclusivamente variables estacionarias o combinaciones estacionarias con propiedades estadísticas más adecuadas que una ecuación en niveles. En tanto el parámetro γ representa el mecanismo de corrección que garantiza que los errores de equilibrio, del periodo anterior, incorporen información relevante para explicar las variaciones de la variable dependiente, en el periodo actual. Por otra parte, el teorema de representación de Granger (Engel y Granger, 1987) establece que si las series son cointegradas es posible especificar un Modelo de Corrección de Errores (ECM), que integra las variaciones de las series y la relación de cointegración, permitiendo por una parte, analizar la relación de las variables en niveles y por otra estimar un modelo con las propiedades estadísticas adecuadas.

(a.3) $$\Delta y_t = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=0}^{k} \delta_i \Delta x_{t-i} + \gamma\, y_{t-1} - \beta x_{t-1} + u_t$$

Así, la ecuación (a.3) incluye exclusivamente variables estacionarias o combinaciones estacionarias con propiedades estadísticas más adecuadas que una ecuación en niveles. En tanto γ representa el mecanismo de corrección, el cual garantiza que las desviaciones de la variable dependiente respecto a su relación de cointegración, incorporen información a las variaciones de corto plazo (Granger y Mizon, 1993). De esta forma, el análisis empírico se sustenta en un balance entre la hipótesis teórica a comprobar y la información estadística disponible, obteniendo una mejor aproximación al proceso generador de información (Spanos, 1986).

8.4 Estimación de los modelos de crecimiento

Considerando la especificación de la ecuación (3), se planeta la siguiente ecuación de largo plazo como una aproximación a la trayectoria del PIB:

(4) $$y_t = \beta_1 k_t + \beta_2 e_t - \beta_3 pre_t + \beta_4 yx_t + \beta_5 tcr_t + u_t$$

Donde y_t representa el PIB medido en millones de pesos a precios de 2003, k_t se denomina como el acervo de capital calculado por medio de la fórmula de inventarios, pre_t representa a los precios relativos de la energía, es decir, el índice de precios de la energía divido por el índice de precios al consumidor, yx_t representa la demanda externa medida por el PIB de Estado Unidos y tcr_t es el tipo de cambio real aproximado por la relación de precios internos a externos por el tipo de cambio nominal. El período de análisis es de 1965 a 2010.

Con el fin de obtener una ecuación de cointegración[25] para la economía mexicana, se especificó un modelo VAR y se aplicó el Procedimiento de Johansen (1988, 1992 y 1995). Los resultados de la prueba de la traza se representan en el Cuadro 9, que indica la presencia de hasta 3 vectores de cointegración lo cual muestra que existen relaciones simultaneas entre las variables consideradas debido a que el PIB también influye en la determinación de las otras variables del sistema, lo cual implica identificar las relaciones de largo plazo, en un sistema de ecuaciones (Garrat, et al., 2006).

Cuadro 9
Prueba de cointegración del procedimiento de Johansen

Valores Características	H_0: r	p-r	Traza (calculado)	Traza 95% (tablas)	Prob
0.875	0	6	176.769	83.820	[0.000]
0.717	1	5	98.065	59.961	[0.000]
0.445	2	4	49.197	40.095	[0.002]
0.379	3	3	26.054	24.214	[0.021]
0.143	4	2	6.826	12.282	[0.331]
0.011	5	1	0.469	4.071	[0.561]

Nota: (*) rechazo de la hipótesis nula. Periodo 1966-2010.

[25] Las pruebas de raíz unitaria se reportan en el Anexo en el Cuadro A1.

Normalizando el primer vector de cointegración como una ecuación del PIB (Cuadro 10), se reporta que el acervo de capital y el empleo muestran elasticidades positivas y cumplen con la restricción teórica de que su suma es cercana a la unidad. Los resultados indican que el factor capital genera mayores efectos en el crecimiento, debido a que su elasticidad es de 0.745, en contraste con el nivel de empleo cuya elasticidad a largo plazo reporta una magnitud de 0.176, por lo que un crecimiento sostenido del producto a largo plazo requiere de mayores incrementos en los niveles de inversión; resultados similares se reportan en (Shiau et al., 2002, Santaella, 1998, Kehoe y Ruhl, 2010). Los precios relativos de la energía mantienen una elasticidad negativa pero un valor pequeño, así que un mayor costo de la energía puede tener consecuencias negativas en el producto, dependiendo de su grado de substituibilidad o complementariedad con el empleo (Murry y Nan, 1990 y Pyndick, 1979). La demanda externa tiene efectos positivos en el crecimiento, así como la competitividad del tipo de cambio real.

Cuadro 10
Vector de cointegración

y_t	k_t	e_t	pre_t	yx_t	tcr_t
1.000	0.745	0.176	-0.096	0.153	0.294

Con base en la relación de largo plazo, se estimó el modelo de corrección de errores (ecuación 5), en donde las pruebas de diagnóstico señalan que no hay problemas de autocorrelación y tampoco de heteroscedasticidad en los términos de error, y no se rechaza la hipótesis de normalidad. Además se puede observar un ajuste entre las variables del 85 por ciento (Gráfica 27). Los resultados de los coeficientes muestran que existe un efecto importante del acervo de capital, ya que su el valor de su coeficiente es de 0.687. Asimismo las variaciones del empleo tienen un impacto de 0.256, pero el tipo de cambio real no reporta el signo esperado. En el corto plazo los precios relativos de la energía tienen una elasticidad mayor que en la relación de largo plazo, es decir, existe un impacto inmediato en la economía pero este se va diluyendo en el tiempo. Asimismo, el efecto de la demanda externa es muy similar a la elasticidad de largo plazo.

$$\Delta y_t = -0.034 + 0.678*\Delta k_t + 0.256*\Delta e_t + 0.188*\Delta yx_{t-1} - 0.141*\Delta pre_t - 0.007*\Delta tcr_t$$

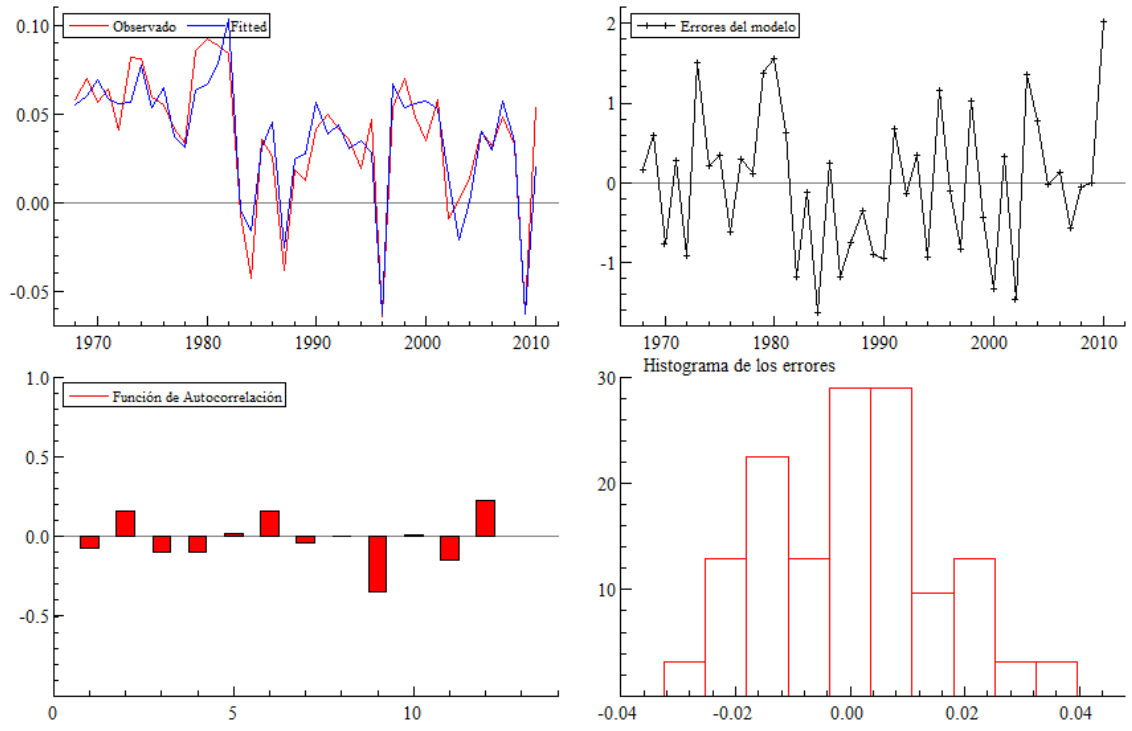
t-stad (-2.033) (8.044) (2.160) (1.400) (-3.824) (-1.106)

$$- 0.097*ecm_{t-1} - 0.122*D1983 - 0.100*D2006 - 0.088*D2009$$

t-stad (-3.168) (-6.931) (-6.280) (-5.227)

Pruebas Diagnostico
R^2:0.850
Normalidad J-B: 0.971 [0.615]
Autocorrelación LM (2 rezagos): F:0.822 [0.448]
Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): F:0.384 [0.683]
Error Cuadrático Medio: 0.014
Periodo: 1966-2010

Gráfica 41
Valores actuales, estimados y residuales del modelo de corto plazo del PIB 1966-2010



Con base en los resultados del modelo se procedió a realizar los pronósticos de las tasas de crecimiento del PIB hasta el año 250. Sin embargo, los modelos de corto plazo consideran un conjunto de variables exógenas, por lo cual es necesario proponer una serie de supuestos

sobre la trayectoria de estas variables exógenas. En consecuencia se plantearon diferentes supuestos en las variables involucradas de acuerdo con su comportamiento en periodos anteriores. En el siguiente cuadro se muestran los supuestos aplicados a cada uno de los modelos.

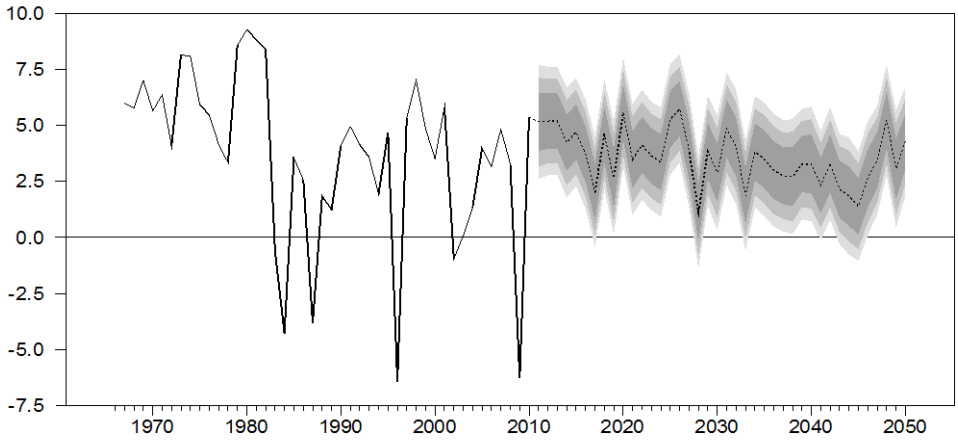
Cuadro 11
Supuestos sobre las variables exógenas

Supuestos Tasas de Crecimiento				
Variables Exógenas	**2011-2020**	**2021-2030**	**2031-2040**	**2041-2050**
K	2.83	2.91	2.91	2.91
E	2.78	2.39	2.36	2.35
PRE	2.47	2.33	2.37	2.39
	3.19	2.72	2.73	2.73
TCR	- 0.44	-0.38	-0.38	- 0.38

Los supuestos sobre las variables exógenas, proponen un escenario muy similar al comportamiento observado en las últimas tres décadas y eliminan la presencia de los valores extremos. Estos supuestos alimentan las variables exógenas que permiten obtener las tasas de crecimiento y las trayectorias del PIB. Posteriormente y con el propósito de considerar el nivel de incertidumbre sobre el pronóstico, se realizaron simulaciones estocásticas sobre un rango de valores de las variables exógenas y se construyeron bandas de probabilidad de ocurrencia o "*Fan Charts*" sobre las tasas de crecimiento proyectadas.

Las gráficas de "*Fan Charts*" se basan en asumir una distribución de probabilidad normal cuya varianza cambia en el tiempo, generando bandas de probabilidad para dichas proyecciones. Esto significa que *r* es una función de probabilidad de los valores futuros de una variable, condicionada a la información conocida en el presente (Britton, Fisher y Whitley, 1998), las cuales tiene como ventaja describir completamente la densidad marginal de pronóstico en cada uno de los periodos del horizonte de pronóstico, permitir que la densidad marginal de pronóstico sea asimétrica (Julio, 2006) y realizar pronósticos siempre con un componente e incertidumbre en la medida en que el futuro es incierto (Ericsson, 2002) y que para el caso del escenario base se calcularán bandas con niveles de 60, 80 y 90 porciento de significancia los resultados se presentan en la Gráfica 42 y el Cuadro 12.

Gráfica 42
Fan chart del pronóstico de la tasa de crecimiento del PIB



Cuadro 12
Simulación del modelo de corrección de errores

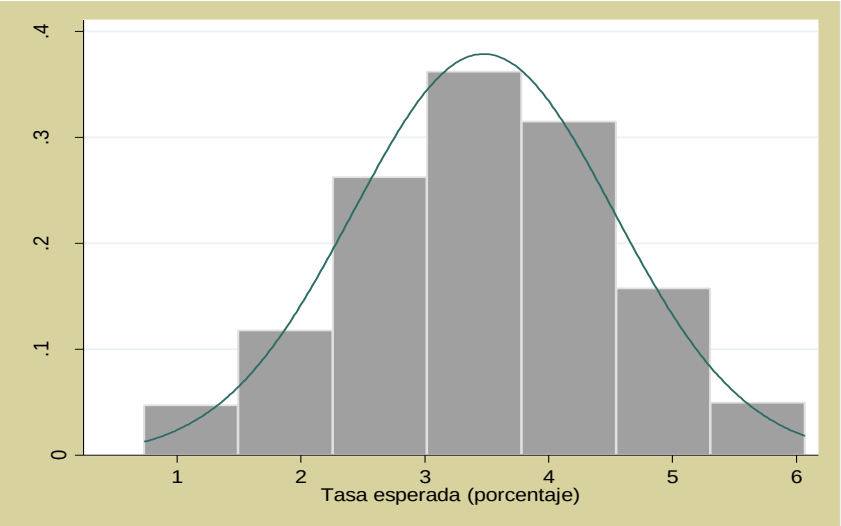
Probabilidad del escenario	Límite inferior	Media	Límite superior
60% de probabilidad	2.31	3.40	4.50
20% de probabilidad	1.64	1.98	2.32
10% de probabilidad	4.85	5.45	6.06

Con una probabilidad del 60 por ciento, si las condiciones estructurales de la economía no se modifican sustancialmente, el crecimiento del conjunto de la economía mexicana fluctuara en promedio entre 2.3 a 4.5 por ciento anual. Existe un 20 por ciento de probabilidad de que se registren tasas inferiores al 3 por ciento anual. En contraste un crecimiento acelerado, similar al registrado en la década de los sesenta, es muy poco probable, con un nivel del 10 por ciento. Los resultados de las simulaciones sugieren que el desempeño futuro de la economía mexicana dependerá de sus capacidades para incentivar programas de inversión tanto privada como pública, que mantengan las tasas de crecimiento del capital, así como garantizar la estabilidad macroeconómica y de un mayor grado de penetración del sistema financiero en la economía. La Gráfica 43, presenta la distribución simulada de la tasa de crecimiento generada por el modelo de corrección de

errores, indicando los valores que con mayor probabilidad de ocurrencia podría tomar el crecimiento del PIB sin considerar cambios en la estructura productiva.

Bajo estas condiciones se podrá garantizar un crecimiento estable cercano al límite superior del escenario que podemos denominar como base con una probabilidad de ocurrencia de 60 por ciento. Una contracción de los acervos de capital, la disponibilidad de divisas y la restricción del crédito interno (variables interrelacionadas) son elementos que influyen en las tendencias de crecimiento, además de la dinámica de la economía mundial, sobre todo de los Estados Unidos, tendrán en conjunto un gran peso sobre las expectativas de crecimiento y en consecuencia en las decisiones de inversión. Un menor dinamismo de estos factores podrán generar un escenario donde las economía mexicana se ubique en la franja de un escenario bajo, con una probabilidad de 20 por ciento.

Gráfica 43
Distribución simulada por el modelo de corrección de errores



8.5 Principales resultados de la estimación del PIB Sectorial

Las estimaciones permitieron identificar relaciones de cointegración entre el producto total, el producto norteamericano y la tasa de interés (cetes a 91 días). En el Cuadro 11 y 12 se

reportan los resultados de la estimación de las elasticidades ingreso de largo plazo y del precio intertemporal, tasa de interés.

La especificación básica se representa en la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{y_{it} = \beta_0 + \beta_1 * y_t + \beta_2 * pr_{it} + u_t}$$

El cuadro 12 presenta el vector de cointegración normalizado, los resultados establecen la presencia de una relación estable de largo plazo entre las variables tasa de interés e ingreso nacional norteamericano. Estos coeficientes permiten identificar varios aspectos importantes.

En primer lugar destaca que la variable al largo plazo que tiene mayor influencia en PIB nacional es el PIB norteamericano, representando una aproximación del PIB de la economía con una elasticidad cercana a la unidad, es decir, el modificar en uno por ciento el ingreso norteamericano será traducido en un incremento del ingreso nacional del 0.67 por ciento. Este resultado confirma que existe una relación estrecha entre la economía americana y el mercado mexicano, y que existe una relación pequeña en relación con la tasa de interés presentando una elasticidad inferior a la unidad a cercándose a ser insignificante. El ingreso nacional indica una reacción mínima ante los incrementos en los precios intertemporales ya que al aumentar en uno por ciento se verá traducido en una disminución de 0.07 por ciento.

Al estimar el PIB sectorial observamos que los sectores tienen una elasticidad del ingreso muy cercana de la unidad, siendo está mayor a la presentada por el ingreso nacional, lo que nos indica la composición del PIB sectorial nacional y sus cambios en relación con los movimientos del PIB norteamericano.

El sector comercial y energético muestran una elasticidad ingreso por arriba de la unidad. Aun así, el sector comercial tiene una elasticidad superior al ingreso nacional con 1.79, a pesar de que el sector construcción es más sensible ante los cambios en el la tasa de interés

al tener una elasticidad de -0.34 (inelástica), en cambio el sector comercial presenta una elasticidad de -0.27.

El PIB del sector construcción tiene una elasticidad ingreso cercano a la unidad (0.86), lo que muestra que la economía mexicana es sensible ante un cambio porcentual del ingreso norteamericano, esto puede explicarse por las necesidades del mercado interno. La elasticidad de la tasa de interés es de -0.34, indica que se presenta un efecto menor aunque importante debido a que un alza en la tasa de interés tendrá un efecto mínimo sobre el producto del sector.

El sector manufacturero tiene una elasticidad ingreso muy cercana a la unidad de 0.95, siendo esta la más cercana a los sectores comercial y energético, lo que establece de manera clara el vínculo con el mercado norteamericano en términos de la composición del sector industrial norteamericano; mientras que la elasticidad que presenta en relación a la tasa de interés es del -0.14.

En general esperaríamos que ante cambios en el precio intertemporal, es decir, en la tasa de interés, el ingreso nacional debiera incrementar de manera inmediata. De acuerdo con la teoría, el incremento en la tasa de interés incrementaría gradualmente el costo de los préstamos y por ende una menor inversión, ocasionando una reducción en la actividad económica.

Cuadro 13

Ecuaciones normalizadas del PIB nacional

Ecuación	β_0	β_1	β_2
Nacional	-9.63	0.67	-0.07

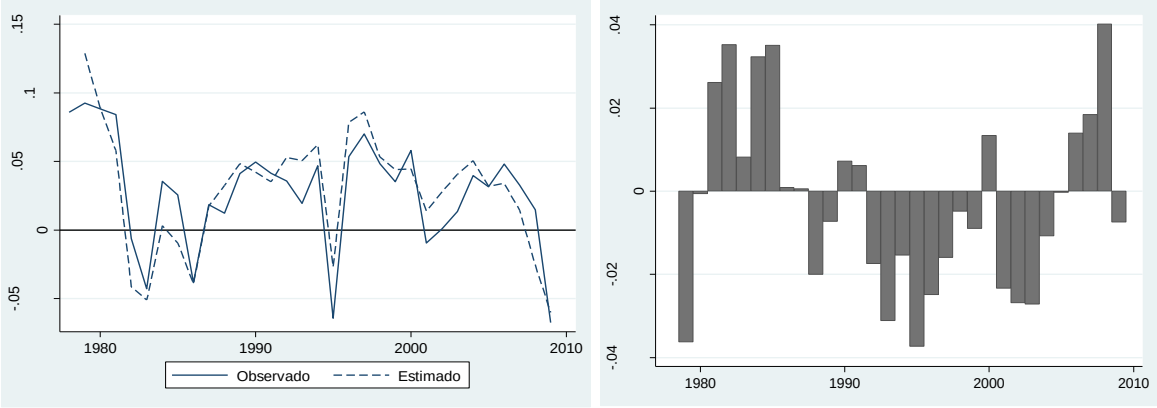
Cuadro1 14

Ecuaciones normalizadas del PIB sectorial

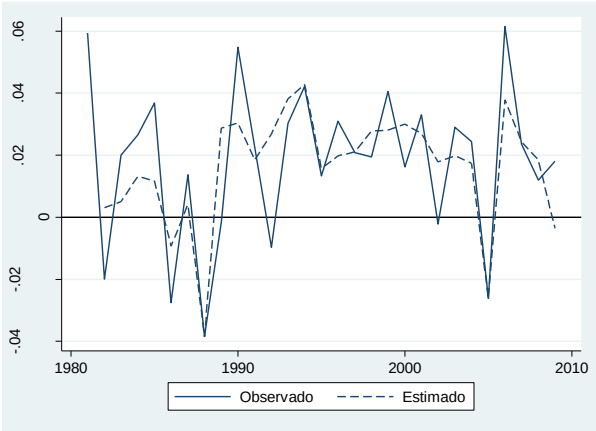
Ecuación	β_0	β_1	β_2
Agropecuario	0.64	0.75	-0.25
Construcción	-0.52	0.86	-0.34
Comercial	-14.58	1.79	-0.27
Energético	-5.32	1.06	-0.08
Manufacturero	-0.62	0.95	-0.14

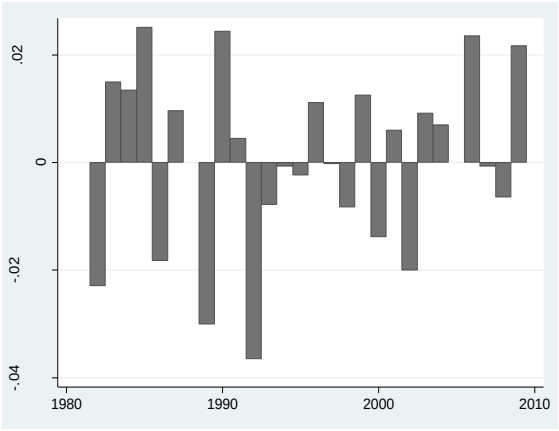
Gráfica 44

Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Nacional

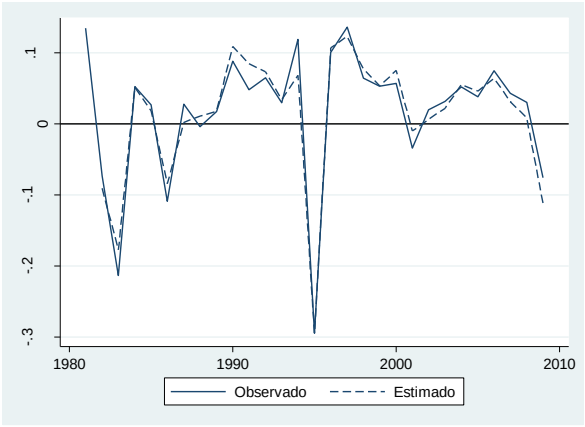


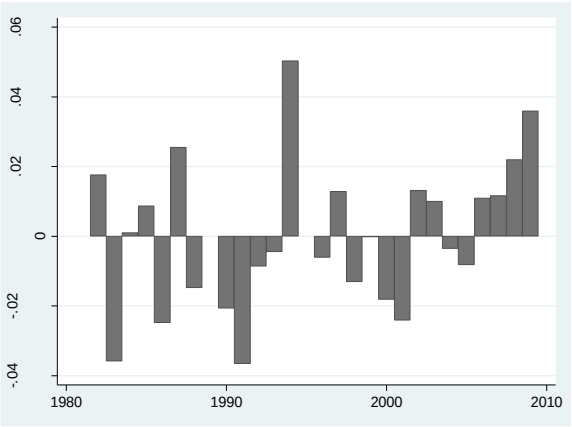
Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Agropecuario



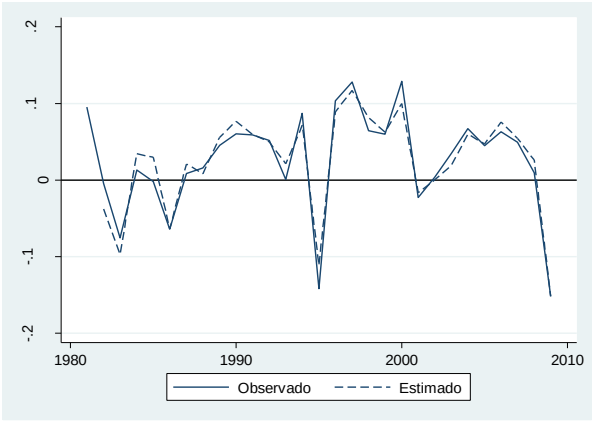


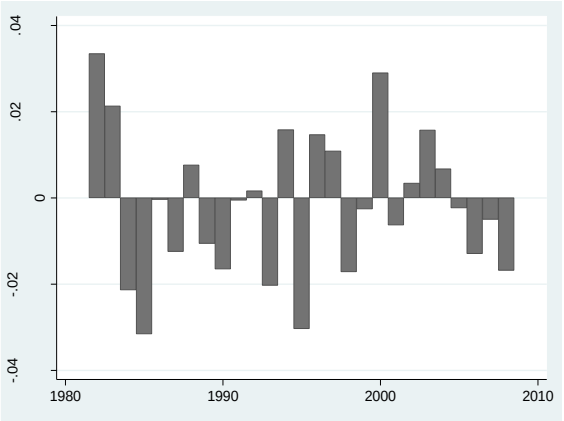
Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Construcción



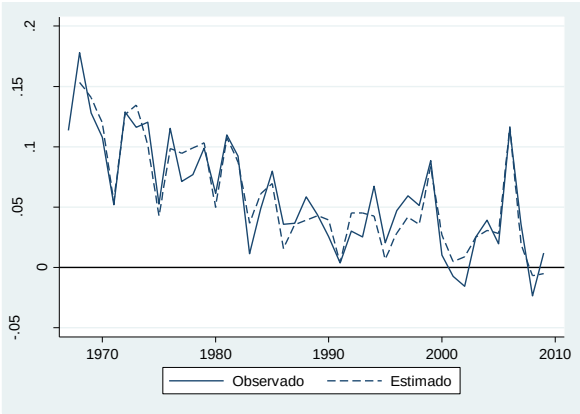


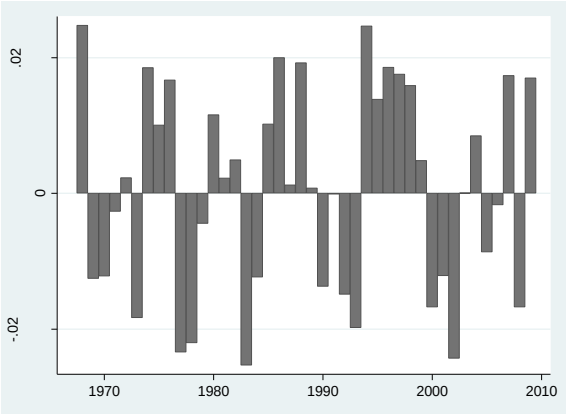
Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Comercial



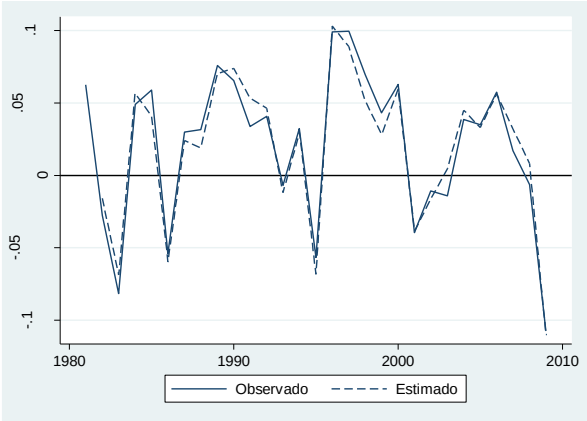


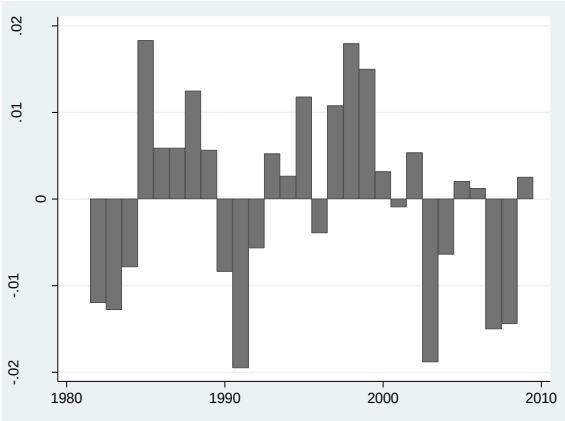
Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Energético





Valores actuales, estimados y residuales de la variacion del PIB Manufacturero





A partir de los resultados obtenidos es claro que, que el ingreso por sector tiene un comportamiento homogéneo y particularmente superior al comportamiento del nacional (Cuadro 15)

Cuadro 15

Modelos econométricos finales del PIB nacional y por sectores

	Nacional	Energía	Agropecuario	Construcción	Comercial	Manufacturero
Variable	Δy_t	$\Delta yene_t$	Δya_t	Δyc_t	$\Delta ycom_t$	$\Delta yman_t$
C				0.014 (-2.662)		0.071 (-4.229)
Δy_{t-1}	0.666 (6.942)					
Δyx_t	0.993 (6.170)					
Δy_t		0.313 (3.948)	0.242 (2.772)	1.286 (6.172)	1.640 (18.973)	1.547 (20.675)
$\Delta yene_{t-2}$		0.199 (-2.591)				
Δprc_{t-2}				0.356 (-3.390)		
Δpre_t		0.054 (-1.609)			0.386 (4.288)	
Δprm_t						0.157 (-1.781)
Δr_t	0.061 (-5.391)					
ecm_{t-1}	-0.262 (-6.443)	-0.169 (-11.069)	-0.316 (-4.951)	-0.069 (-3.765)	-0.164 (-3.150)	-0.173 (-3.761)
d1	0.064 (-5.295) (dummy 87)	0.036 (-2.179) (dummy 91)	-0.044 (-2.541) (dummy 88)	0.102 (5.431) (dummy 89)	-0.045 (-2.474) (dummy 09)	0.034 (5.512) (dummy 94)
d2	-0.076 (3.688) (dummy 96)	0.053 (6.124) (dummy 99)	-0.044 (-5.563) (dummy 05)	-0.177 (-6.214) (dummy 95)		
d3		-0.084 (5.004) (dummy 06)				
Pruebas de Diagnostico						
R^2	0.773	0.885	0.550	0.952	0.939	0.957
J-B	1.626 (0.443)	2.293 (0.317)	1.158 (0.560)	0.438 (0.803)	0.488 (0.783)	1.063 (0.587)
LM (2)	0.293 (0.748)	0.466 (0.631)	1.524 (0.239)	0.021 (0.979)	0.284 (0.755)	2.484 (0.107)
ARCH (2)	0.277 (0.760)	0.101 (0.903)	0.214 (0.808)	1.575 (0.228)	0.422 (0.660)	2.427 (0.110)
RMSE	0.021	0.014	0.015	0.020	0.016	0.010

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. La prueba J-B es para normalidad, la prueba LM es para autocorrelación y la prueba ARCH es para heterocedasticidad. RMSE significa Root Mean Squared Error (Error Cuadrático medio). Los valores entre paréntesis de los coeficientes representan el estadístico t. Las letras en minúsculas representan el logaritmo natural de las series. Periodo 1968 – 2008.

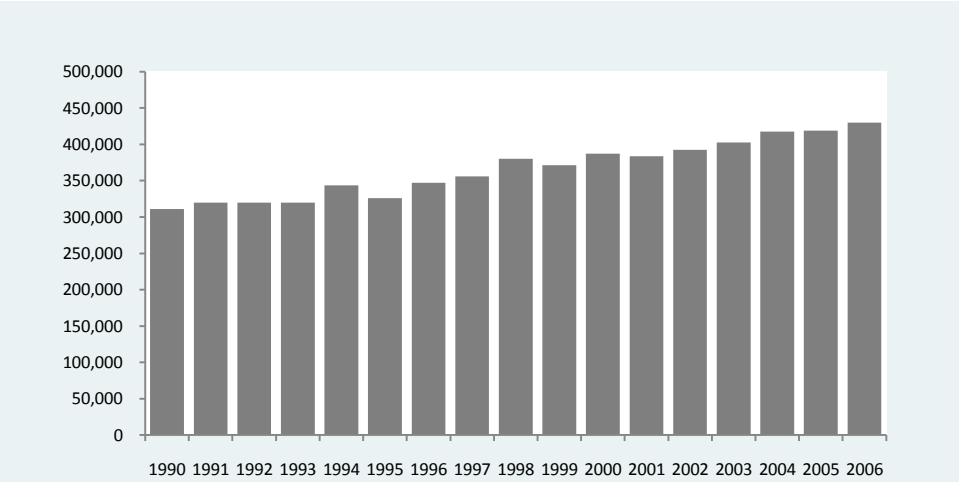
Fuente: Elaboración propia

9. Evolución reciente de las emisiones en México

En esta parte se presenta la estimación de las emisiones de GEI para la producción y consumo de energía para el periodo 1990 – 2006 de acuerdo con las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de 1996 (IPCC por sus siglas en inglés).

Los resultados principales se muestran en la Gráfica 46. Las emisiones totales, en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO_2 equivalente, que incluye las emisiones de metano-CH_4 y bióxido de nitrógeno-N_2O), alcanzaron los 430,097.2 Gg de CO_2 en 2006, de las cuales, la producción y consumo de energía representa el 89% y las emisiones fugitivas el 11%. El crecimiento de las emisiones en todo el periodo fue de 38% para la producción y consumo y de 44% para las emisiones fugitivas.

Grafica 45
Emisiones totales de GEI (Tg de CO_2 equivalente)



Fuente: Con base al inventario de emisiones

Las principales tendencias de las emisiones de GEI en México pueden sintetizarse en los siguientes puntos (INEGEI, 2007):

- Las emisiones totales[26] de GEI en el 2006 fueron de 430.097 Gg en equivalentes de CO_2, que representa un incremento del 38.2 por ciento con respecto a 1990. Estas emisiones incluyen los 6 principales gases efectos invernadero contemplados por el Protocolo de Kioto (CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs y SF_6) de las categorías de energía, consumo de combustibles fósiles y emisiones fugitivas.

- La mayor contribución a las emisiones totales proviene del consumo de combustibles fósiles, que aporta en promedio anualmente el 89.9 por ciento de las emisiones totales para el periodo 1990-2006.

- Las emisiones fugitivas muestran que para el 2006 aumentaron en un 43.9 por ciento desde 1990 hasta 2006 mientras que el consumo de combustibles fósiles se incrementó en 37.5 por ciento en esos 17 años.

- El aumento de las emisiones fugitivas se origina principalmente en el incremento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y de aguas residuales industriales y municipales.

Como puede observarse, los grandes cambios en la estructura del consumo de combustibles por fuentes ocurrieron de la siguiente forma: en el sector de las industrias energéticas (consumo propio y generación eléctrica) aumentó el uso del carbón y del gas natural y disminuyó el combustóleo. En el sector industrial el mayor aumento en la proporción del consumo lo representan el coque de carbón y de petróleo, lo que impacta inclusive una disminución en la propensión de consumo del gas natural, en el sector. Asimismo, en el sector industrial también se aprecia la disminución del combustóleo y un ligero aumento del bagazo. En el transporte, aun cuando no hubo grandes cambios en la estructura de los combustibles, disminuyó ligeramente la proporción del uso de gasolinas, aumentando el GLP y el diesel. Finalmente en los sectores residencial, comercial y agropecuario aumentó ligeramente la proporción del uso de GLP y del diesel. (Ver cuadro 16)

[26] No se incluye cambio de uso de suelo.

Cuadro 16

Participación porcentual de combustibles por sectores 1990 y 2006

	Industrias energéticas		Industrial		Transporte		Residencial, comercial y agropecuario	
	1990	2006	1990	2006	1990	2006	1990	2006
Carbón	5.12%	13.06%	-	-	-	-	-	-
Coque carbón	-	-	7.02%	9.90%	-	-	-	-
Coque petróleo	-	-	-	13.38%	-	-	-	-
GLP	1.74%	0.32%	1.66%	3.65%	1.21%	2.01%	42.20%	47.11%
Gasolinas	4.77%	0.57%	-	-	66.88%	66.75%	-	-
Querosines	1.14%	1.14%	0.27%	-	4.45%	3.67%	2.51%	0.26%
Diesel	3.86%	1.97%	4.59%	4.27%	25.89%	27.27%	9.45%	13.26%
Combustóleo	53.36%	26.07%	28.97%	12.06%	1.57%	0.25%	4.74%	-
Gas natural	28.23%	51.26%	49.53%	46.48%	-	-	5.22%	5.22%
Leña	-	-	-	-	-	-	35.88%	34.15%
Bagazo	-	-	7.96%	10.25%	-	-	-	-

Fuente: Elaboración a partir de información del Balance Nacional de Energía (SENER, 1997, 2006 y 2007)

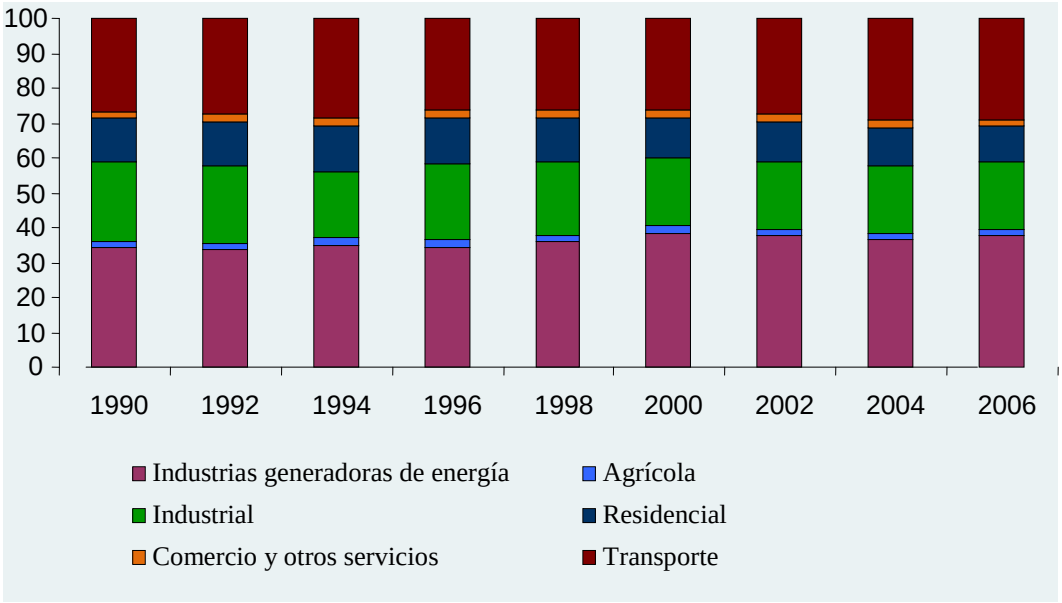
Estos cambios en la estructura de combustibles de todos los sectores, tuvieron implicaciones significativas en las emisiones de dióxido de carbono.

En el 2006, el gas natural fue el combustible de mayor consumo, seguido por la gasolina y el diesel. En la cuadro 13 puede verse claramente, la sustitución de combustóleo por gas natural que ocurrió principalmente en la generación eléctrica. En el caso de la desagregación por sectores, el mayor consumidor es el sector transporte, seguido por la generación eléctrica y el sector industrial. La estructura de emisiones de GEI puede, en principio, asociarse en una correspondencia general con sus fuentes de origen.

En efecto, las Gráficas 47 y 48 muestran la estructura de las emisiones para México de 1990 a 2006 y sus relaciones a los principales sectores económicos.

Grafica 46

Consumo nacional de energía por sectores, 1990-2006

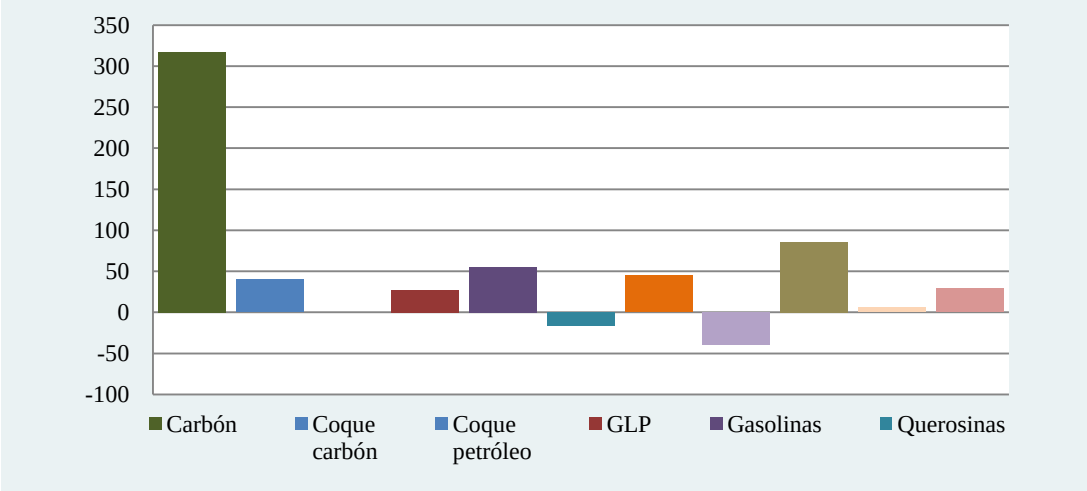


El consumo de combustibles fósiles y biomasa en México creció 34% en el periodo comprendido entre 1990 y 2006 pasando de 4306 a 5780 PJ. Sin considerar la biomasa, las emisiones de dióxido de carbono crecieron en 34.4%, desde un valor de 275.3 en 1990 a 370 Tg de CO_2 en 2006. Las emisiones equivalentes de CO_2, que consideran el CH_4 y el N_2O se incrementaron en 38.1%, de un valor de 278,264.7 a 382,702.1 Gg, equivalentes de CO_2.

Las emisiones de GEI para 2006 en unidades de CO_2 equivalentes, y con cifras preliminares de la categoría de uso de suelo y silvicultura se estimaron en 643,183 Gg tomando en cuenta los 6 gases del protocolo de Kioto.

Grafica 47

Emisiones equivalentes de CO2 por combustible
(Gg de CO2 equivalente)

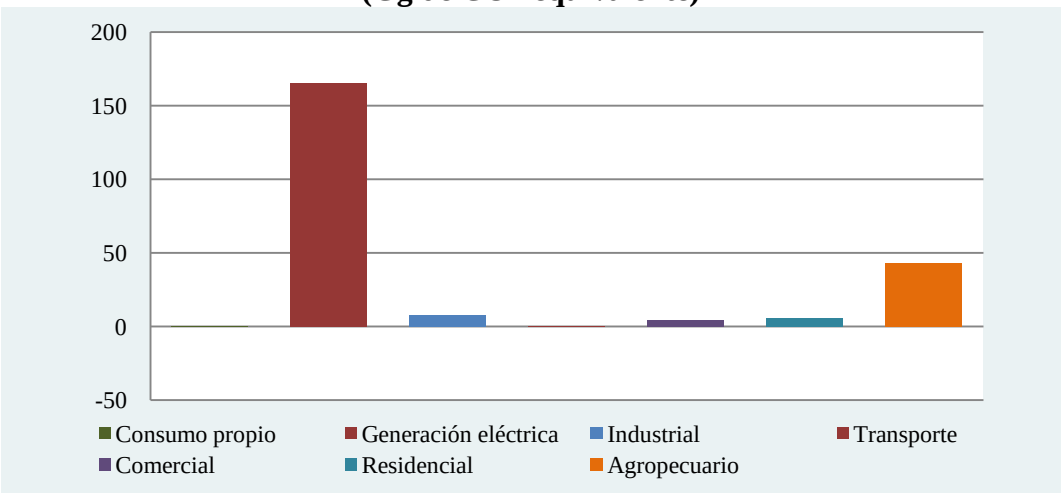


Fuente: Con base al inventario de emisiones

Esta estructura de las emisiones por sector de origen permite entonces identificar que la contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO_2 equivalente en el 2006, la cual fue: energía 61 por ciento de las emisiones con 389,497 Gg; uso de suelo 14 por ciento de las emisiones totales con 89,854 Gg; desechos 10 por ciento de las emisiones 65,584 Gg; procesos industriales 8 por ciento con 52,102 Gg; y agricultura el 7 por ciento de las emisiones con 46,146 Gg. Asimismo, dentro de la categoría de energía las principales fuentes son la generación de energía y el transporte (Gráfica 48).

Grafica 48

Emisiones equivalentes de CO2 por sector
(Gg de CO2 equivalente)



Fuente: Con base al inventario de emisiones

El Cuadro 16 muestra la clasificación y porcentaje de los combustibles por fuente y sector de las emisiones de CO_2, de la misma forma que presenta la actividad correspondiente y su uso final.

Cuadro 16
Fuente y uso final de las emisiones de CO^2 por sectores.

Fuente	Sector		Uso final/ Actividad
Combustibles: Nuclear (2%) Carbón (6%) Renovables (6%) Gas Natural (28%) Derivados del Petróleo (57%)	ENERGIA	Transporte	Automotor
			Aéreo
			Ferrocarril y navegación
		Generación de Energía	Residencial
			Comercio y edificios públicos
			Hierro y acero
			Metales no ferrosos
			Pulpa y papel
			Comida y tabaco
			Cemento
			Otras industrias
			Extracción, refinación y producción de petróleo y gas.
			Uso de energía en Agricultura
		Manufactura e industria de la construcción	Hierro y acero
			Metales no ferrosos
			Pulpa y papel
			Comida y tabaco
			Químicos
			Cemento
			Otras industrias
		Emisiones fugitivos	Minas de carbón
			Extracción refinación y producción de petróleo y gas
		Otros consumos	Residencial
			Comercio y edificios públicos
			Uso de energía en Agricultura
Piedra caliza Dolomita Carbonato de sodio Asfalto Gas Natural	Procesos industriales		Productos minerales
			Industrias químicas
			Producción de metales
			Otros procesos industriales
			Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
			Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
Cambios de biomasa en bosques Bioxido de carbono de la conversión de bosques y pastizales Combustión in situ de la biomasa forestal Cambios en el carbono de los suelos minerales	Cambio de uso de suelo y silvicultura		Cambios en existencia de bosques y otra biomasa leñosa
			Cambio de uso de suelo
			Captura por abandono de tierras
			Emisiones y captura de CO_2 del suelo
Fertilizantes nitrogenados Cultivo de arroz Quema de residuos agrícolas	Agricultura		Fermentación entérica
			Manejo de estiércol
			Cultivo de arroz
			Suelos agrícolas
			Quemas programadas de suelos
			Quemas in situ de residuos agrícolas
Residuos sólidos Aguas residuales municipales Aguas residuales industriales	Desechos		Disposición de residuos sólidos en suelo
			Manejo y tratamiento de aguas residuales
			Incineración de residuos

Fuente: INEGEI 1990-2002, (2006)

Escenarios de emisiones de CO2e asociados al consumo de energía

La diferencia entre la trayectoria del escenario base y la aplicación de un aumento en los precios relativos de la energía, permite aproximar la diferencia en los niveles de consumo de energía y con base en este resultado el impacto en las trayectorias de emisiones. En efecto, al considerar la demanda de energía es factible aplicar los factores de emisión y obtener su evolución esperada. Así, se realizó una estimación de la reducción en las emisiones de los diferentes GEI asociados con los escenarios de precios y de consumo de energía. Es importante señalar que la simulación realizada no considera cambio en los factores de emisión. En todo caso, el ejercicio permite estimar las reducciones de emisiones derivadas de la aplicación de una política de precios sin considerar cambios tecnológicos.

Emisiones de GEI

Las emisiones de gases invernadero (GEI) y su relación con las fuentes de emisiones son el resultado de un complejo sistema dinámico, con rezagos y costos de ajuste importantes que además está sujeto a distintos tipos de *shocks*. En principio, los modelos de cambio climático asocian las emisiones a factores económicos tales como la evolución del producto y su composición, el crecimiento demográfico, la tecnología disponible y sus formas de innovación e incluso de elementos sociales y culturales (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y IPCC, 1996). No obstante ello, existe un intenso debate sobre las formas, las magnitudes y las elasticidades de esta relación entre emisiones de GEI y los procesos económicos.

Estas emisiones de contaminantes a la atmósfera (EM_{it}) pueden asociarse a la trayectoria del consumo de energía (E_{it}) y el producto (y_t) de acuerdo a la siguiente identidad (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y Ekins, 1996):

(1) $$EM_{it} = \frac{EM_{it}}{E_{it}} \times \frac{E_t}{y_t} y_t$$

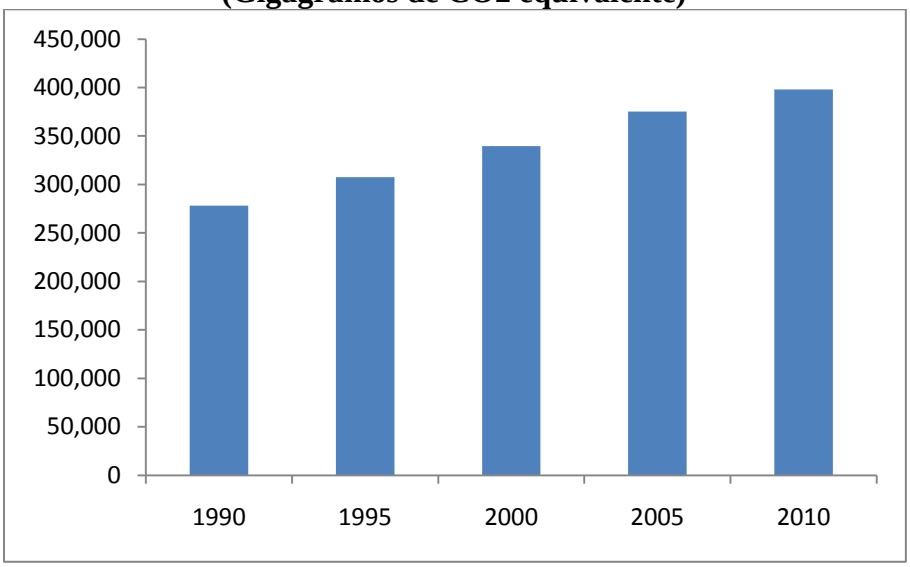
Esta identidad refleja la composición del producto y la energía, la eficiencia energética y en emisiones. De esta manera, estimando el coeficiente de intensidad de emisiones, es decir, emisiones a consumo de energía y bajo el escenario de una trayectoria del producto, es factible obtener una estimación de las emisiones asociadas al consumo de energía. Una especificación alternativa es, considerar los cambios en los coeficientes de intensidad de emisiones (Ekins, 1996, pp. 162, y Mabey, Hall, Taylor y Gupta, 1997):

(2) $$EM_{t+1} - EM_t = \alpha_{0t}(X_{it+1} - X_{it}) + X_{it+1}(\alpha_{1t+1} - \alpha_{0t})$$

Donde EM_{t+1} y EM_t representan las emisiones GEI para los periodos t+1 y t, X_{it} es el consumo total de energía, α_{0t} es el coeficiente que relaciona a las emisiones GEI con un determinado nivel de energía y de producto en el tiempo t, α_1 es el coeficiente que asocia las emisiones al nivel de energía y de producto en el tiempo t+1. De este modo, el primer término representa entonces el incremento en las emisiones entre el período t y t+1 suponiendo constante al coeficiente de emisiones a energía o producto. El segundo término representa las emisiones en el período t+1 ocasionadas por los cambios en el coeficiente de emisiones. Así, una economía que, con el tiempo se hace más eficiente en su relación entre emisiones y energía o más eficiente energéticamente debe tener un segundo término negativo.

En 2006, las emisiones de GEI derivadas del consumo de energía, principalmente del uso de combustibles de origen fósil, fue del orden de 382,702.1 Gg (Giga gramos) de CO_2e, esta cantidad equivale a 383 millones de toneladas de emisiones de COe. En la última década las emisiones de CO_2e del sector de energía se han incrementado a una tasa del orden de 1.6% anual, reforzando su tendencia ascendente desde 1990.

Gráfica 49
Emisiones equivalentes de CO2 de la energía
(Gigagramos de CO2 equivalente)



Fuente: Con base al inventario de emisiones

Con base en las trayectorias de crecimiento del consumo de energía, generadas por el escenario base y los escenarios alternativos de aumentos en los precios relativos de la energía en 1%, 2% y 3%, se observa que bajo el escenario base las emisiones podrían crecer a una tasa del 1.9% anual entre 2011 a 2050, pasando de 389 mil Gg a prácticamente 819 mil Gg, bajo estas condiciones de no aplicarse medidas de innovación tecnológica y no lograr desacoplar la trayectoria del consumo de energía al producto tendremos en consecuencia que las emisiones seguirán la tendencia observada en las últimas dos décadas. Considerando un aumento permanente del 1% en los precios relativos de la energía, no se logra una reducción significativa con un ritmo de 1.6% anual, al considerar un incremento en los precios del orden del 3% anual se podría lograr una disminución en el ritmo de crecimiento de las emisiones a una tasa de 1.4% anual, hacia el 2050 se emitirían 676 mil Gg de CO2e, aun así las emisiones en 2050 representaran 1.7 veces las emisiones registradas en 2010.

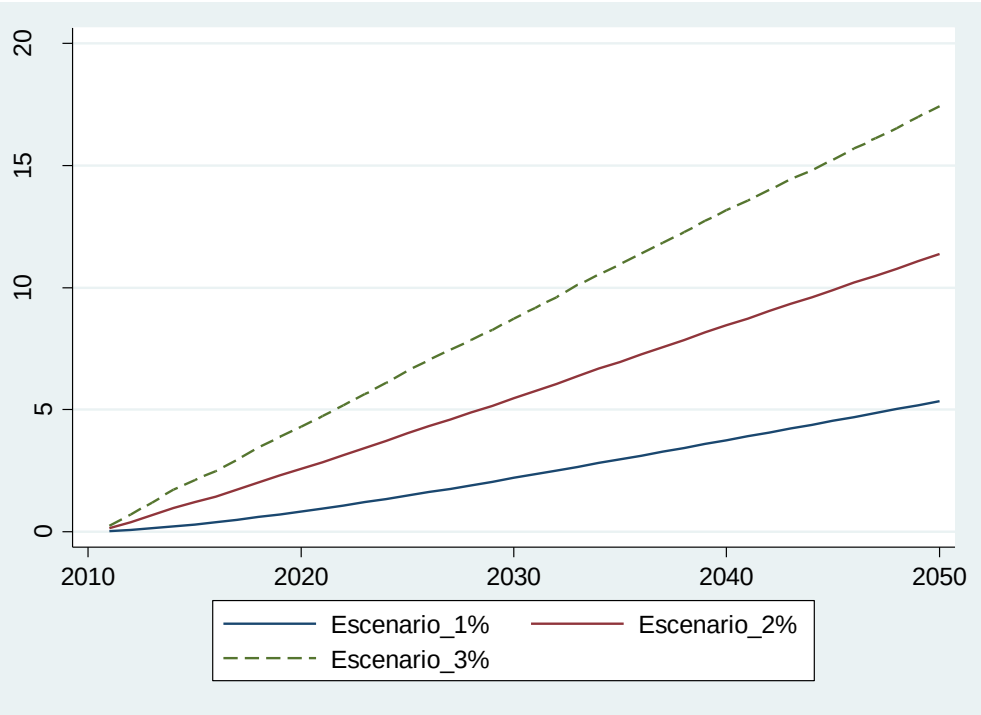
Cuadro 17
Emisiones proyectadas por la demanda de energía
(Gigagramos en CO2 equivalente)

Año	Base	Aumento 1%	Aumento 2%	Aumento 3%
2010	398,002.6	398,002.6	398,002.6	398,002.6
2020	472,605.5	468,692.3	460,465.7	452,239.1
2030	564,981.7	552,536.6	534,108.9	515,681.1
2040	679,451.1	653,963.9	621,964.9	589,965.8
2050	819,129.8	775,363.5	725,839.7	676,315.8
TMC	1.9	1.8	1.6	1.4

Considerando la diferencia entre el escenario base y las trayectorias de emisiones en los distintos escenarios de aumentos en los precios relativos de la energía se obtiene una aproximación de los ahorros en los niveles de emisiones en términos porcentuales respecto al escenario base. La Gráfica 50, muestra el ahorro en emisiones ante los cambios en los precios relativos, así por ejemplo ante un aumento permanente de solo 1% se lograría una

reducción en los niveles de emisiones del hasta 9% en el año 2050, una aumento del 2% en los precios relativos de la energía permitiría un ahorro del 18%, y bajo el escenario de un aumento del 3% en los precios relativos se lograrían ahorros significativos a partir del 2030 llegando hasta un porcentaje del 25% en 2050 respecto al escenario base.

Gráfica 50
Ahorros en emisiones en los distintos escenarios de aumento de precios relativos de energía (Porcentaje)



10. Consideraciones finales

Las principales conclusiones que se derivan de la evidencia presentada son:

1. La energía se ha convertido en un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las economías industrializadas y en transición. La evolución del consumo de energía muestra una trayectoria ascendente y existe una fuerte asociación entre los niveles de producción, energía y por consiguiente con el nivel de emisiones de los GEI.

2. Los resultados econométricos, indican que de no modificarse la estructura actual de la economía y los requerimientos de la matriz energética, la relación entre consumo de energía y evolución del PIB se mantendrá en las siguientes cuatro décadas lo cual implicará, que el consumo nacional de energía crezca a un ritmo de 2.81% en promedio anual entre 2010 a 2050.

3. Bajo el escenario base: la demanda de energía en el sector agropecuario aumentará en promedio anual en 2.71%. En el sector comercial se espera registre un fuerte crecimiento en a una tasa del 3.56% anual, esto debido a la expansión de este sector cuyo crecimiento del PIB se podría ubicar en 4% anual. Se espera que en el sector industrial su participación en el PIB nacional decline lentamente hasta el 2050, por lo tanto la demanda de energía registrará un crecimiento del orden de 2.24%.

4. El sector residencial mostró una estabilidad en la demanda de energía y no se espera un crecimiento acelerado en las próximas cuatro décadas, la tasa de crecimiento estimada es de 1.90% anual. En el escenario base, las industrias energéticas constituyen el segundo sector en importancia en la demanda de energía a nivel nacional y se espera que en 2050 este sector concentré el 30% de la demanda total, así la tasa de crecimiento generada por el modelo indica que se ubicará en 1.58%. El consumo de energía en el sector transporte, se ubicará en 2.78%, debido a su baja sensibilidad en los precios relativos y su elasticidad unitaria respecto al ingreso, así que la energía usada en el transporte sigue la misma trayectoria que el producto de la economía.

5. Un segundo escenario evaluado estimó las trayectorias del consumo considerando un incremento permanente en los precios relativos de la energía, es decir, consideró el uso de los precios como instrumento de política para incidir en el consumo de energía de los sectores. Las reducciones más importantes se observan en las industrias energéticas, el sector comercial y el sector agropecuario. Por lo que en el caso de implementar una política de incremento precios relativos de la energía en una magnitud de 1% promedio anual, se podría logar una ligera reducción en el consumo nacional de energía en un ritmo de 2.56%.

6. El sector agropecuario resulto ser sensible a los precios de la energía, bajo un escenario de aumento de precios de la energía de 3% anual la tasa de crecimiento sería inferior al escenario base a un ritmo de 1.34%. No se observa una disminución importante en la respuesta del sector comercial, ante un aumento sostenido de los precios relativos, debido a que es uno de los sectores con una elasticidad ingreso superior a uno. El sector industrial registró una menor sensibilidad al nivel de producto y por otra parte su elasticidad precios fue del orden de -0.20, por lo que es más sensible a los cambios en los precios en relación en comparación a otros sectores. Así, bajo un escenario de aumento sostenido en los precios relativos de la energía del 3%, el consumo en este sector reportaría una tasa de 1.48%. El sector residencial resulto altamente sensible al nivel de actividad económica y menos sensible al cambio en los precios por lo tanto no se observa una reducción importante en las tasas de crecimiento. El transporte mostró una baja sensibilidad en los precios relativos, un aumento constante de los precios de hasta 3% anual solo implicaría un descenso de 0.78 puntos porcentuales en las tasas de crecimiento.

7. Utilizando los precios como instrumento de política no se logran reducciones importantes en las emisiones de CO2e, a nivel agregado. Así un aumento permanente en los precios relativos de la energía del 1% se lograría un ahorro de 9% en las emisiones de CO2e, en el año 2050 respecto al escenario base y solo con un aumento del 3% en los precios relativos se obtendría un ahorro de 25% en 2050.

8. Los precios relativos de la energía tienen un impacto negativo en la actividad económica, así que el uso de este instrumento tendrá costos en términos de la capacidad de crecimiento

de la economía mexicana. Así por ejemplo, un ahorro en el consumo de energía de 2.5 puntos porcentuales, es compatible con un aumento de 1% en los precios relativos de la energía pero se perderían 0.9 puntos porcentuales del PIB, debido a la fuerte asociación entre consumo de energía y trayectoria del PIB. Un aumento del 2% en precios relativos de la energía en promedio logaría una disminución de 4.9 puntos porcentuales en la demanda de energía pero también implicaría, una reducción del PIB de 1.7 puntos porcentuales. En el escenario de aumento del 3% el ahorro en el consumo de energía llegaría hasta 7.2%, pero la perdida en el PIB sería bastante elevada, de 2.6 puntos porcentuales respecto al escenario base.

9. El análisis y simulación del consumo de energía confirma que es importante combinar políticas de precios y de regulación. Esto es, una estrategia de aumento de precios de la energía y el uso de instrumentos que promuevan un aumento en la eficiencia en el uso de la energía.

Recomendaciones de Política Pública

a) Modificar los precios de la energía incluyendo sus costos ambientales. Ello no resolverá las necesidades para desacoplar la energía a la trayectoria del PIB, y reducir los niveles de emisiones pero sin dichas políticas no será posible alcanzar las metas de reducción de emisiones que requiere la estrategia de cambio climático.

b) Es indispensable instrumentar una estrategia para reducir el ritmo de crecimiento de la demanda de energía en México y modificar la matriz energética hacia combustibles más limpios.

c) Es necesario instrumentar una estrategia para reducir el ritmo de crecimiento del consumo de combustibles en el sector transporte. Ello debe incluir una política de precios más agresiva, regulaciones más estrictas y el fomento a la innovación tecnológica en el sector. Todo ello apoyado por la construcción de una red de transporte público eficiente.

d) Es necesario imponer metas promedio en el tiempo de desacoplamiento energético y de descarbonización por sectores consistentes con el Programa Especial de Cambio Climático. De este modo, es posible monitorear los objetivos propuestos en el Programa y contrastarlos con la evolución sectorial de la economía mexicana.

e) No se ha logrado una mayor transferencia de tecnología en el sector industrial, transporte e industrias generadoras de energía. Por lo tanto, es necesario avanzar en el aumento en el ahorro en la energía eléctrica, en el sector comercial, sector residencial y en la industria.

f) Aumentar la eficiencia en el uso de los combustibles de origen fósil, mediante equipo de captación y secuestro de carbono a pequeña escala.

g) Promocionar la incorporación al parque vehicular de vehículos híbridos ligeros, con carga en la red eléctrica.

11.Referencias bibliográficas

Aghion P. y P. Howitt (1998), ***Endogenous growth theory***, Cambridge, MIT Press.

Agnolucci Paolo (2009). "the energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity an common factors". Energy Economics, ELSEVIER

Barro, R.J. (1997), ***Determinants of economic growth: A cross-country empirical study***. *MIT Press.*

Barro, R.J. y X. Sala-i-Martin (1991), *"Convergence across states and regions"*, ***Brookings Papers on Economic Activity***, 1, 107–158.

Barro, R.J., y X. Sala-i-Martin (2004), ***Economic Growth***, Second edition, McGraw-Hill.

Bölük G. and Ali K. (2010). "Electricity demand of manufacturing sector in Turkey: A translog cost approach". Energy Economics, ELSERVER.

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.

Bornacki M. L. (2004). "Uma estimativa da demanda industrial de energía elétrica no Brasil: 1974-2002". EconPapers

Bornacki M. L. (2005). "Demanda residencial de energía eléctrica em Minas Gerais: 1970-2002". Econpapers

Box G.E.P. y G.M. Jenkins (1970), ***Time series analysis, forecasting and control***, San Francisco, Holden Day.

Britton, E., Fisher, P. y J. Whitley (1998), ***The inflation report projections: Understanding the Fan Chart***, Bank of England Quarterly Bulletin.

Brooks, C. (2003), Introductory Econometrics for Finance, Cambridge University Press.

Harvey, A. (1993), Time Series Models, MIT Press.

Carnot, N., Koen, V. y B. Tissot (2005), ***Economic forecasting***, United Kingdom, Palgrave Macmillan.

Catalán H., y Sánchez L. (2009). "Prospectiva del consume de energía y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El caso México". Economía Informa.

Canova, F. (2007), Methods for Applied Macroeconomic Research, Princeton University Press.

CEPAL (2008a), ***Panorama social de América Latina*** 2007.

CEPAL (2008b), **Tendencias demográficas y protección social en América Latina y el Caribe**

Christian C. and Frederick I. (2005). "Weather effects on electricity loads: modeling and forecasting". Department of economics

Cline, W. (2004), ***Trade policy and global poverty***, IIE, Washington.

De Gregorio, J. (1992), *"Economic growth in Latin America"*, ***Journal of Development Economics***, 39, 59-84.

De Gregorio, J. (2008), *"El crecimiento económico de la América Latina: Del desencanto del siglo XX a los desafíos del XXI"*, ***El Trimestre Económico***, vol. LXXV (1), núm. 297, enero-marzo, 5-45.

Diabi A. (1998). "the demand for electric energy in Saudi Arabia: an Emperical investigation". OPEC Review

Dickey, D.A. y W.A. Fuller (1981), *"Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root"*, ***Econometrica***, 49, 1057-1072.

Dinda, S., D. Coondoo y M. Pal (2000), "Air quality and economic growth: an empirical study", Ecological Economics, 34, 409-423.***Environmental Change***, 19(2), May, 240-247.

Ekins, P. (1996). The secondary benefits of CO_2 abatement: How much emission reduction do they justify? ECOL ECON, 16 (1) 13-24.

Elias, V.J. (1992), ***Sources of growth: A study of seven Latin American economies***, ICS Press, San Francisco, CA.

Engel, R.F. y C.W.J. Granger (1987), *"Cointegration and error correction: Representation, estimation and tesing"*, ***Econometrica***, vol. 55, núm. 2, pp. 251-276.

Erdogdu Erkan (2007). “Electricity Demand analysis using cointegration and arima modelling: A case study of Turkey”. Munich Personal RePEc Archive MPRA

Ericsson, N.R. (2002), *“Predictable uncertainty in economic forecasting”* en Clements, M.P. y D.F. Hendry (eds.), ***Economic forecasting***, Blackwell, 19-44.

Filippini M. And Paschauri S. (2004). “Elasticities of electricity demand in urban Indian households”. Appl Econ Lett

Frankhauser, S. (1995), ***Valuing climate change: The economics of the greenhouse***, London.

Galindo L.M. (2010), La Economía del Cambio Climático en México, SEMARNAT-SHCP.

Galindo L.M., R. Heres y L. Sánchez (2006), “El tráfico inducido en México: Contribuciones al debate e implicaciones de política pública”, Estudios Demográficos y Urbanos, vol. 21, núm. 1, 123-157.

Galindo, L.M. (2005), “Short- and long run demand for energy in México: A cointegration approach”, Energy Policy, 33, 1179-1185.

Galindo, L.M. (2008), El Análisis de Costo Beneficio de Aumento de la Eficiencia Vehicular y Biocombustibles, Documento de Trabajo, Instituto Nacional de Ecología (INE).

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. 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.

Gallup, John Luke, and Jeffrey D. Sachs. 1998. “Geography and Economic Development,” paper presented at the World Bank’s Annual Bank Conference on Development Economics, April 20, 1998.

Garratt, A., Lee, K., Pesaran, M.H. e Y. Shin (2003), *“Forecast uncertainties in macroeconometric modelling: an application to the UK economy”*, ***Journal of the American Statistical Association***, 98, 829–838.

Glasure Y.U. y A.R. Lee (1997), “Cointegration, error correction and the relationship between GNP and energy: the case of South Korea and Singapore”, Resource Energy Economics, 20, 17-25.

Graham, D.J. y S. Glaister (2002), “The demand for automobile fuel”, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 36, part 1, January, pp. 1-26.

Granger, C.W.J. (1981), *“Some properties of time series data and their use in econometric model specification”*, ***Journal of Econometrics***, vol. 16, 121-130.

Granger, C.W.J. y G.E. Mizon (1993), *“Cointegration, error correction, and the econometric analysis of non-stationary data”*, ***Advanced Text in Econometrics***, Oxford University Press.

Grossman, G. y E. Helpman, (1991), ***Innovation and growth in the global economy,*** MIT Press, Cambridge.

Hallegatte, S. (2009), *“Strategies to adapt to an uncertain climate change”*, ***Global Environmental Change***, 19(2), May, 240-247.

Hanson G. H. (2010), “Why Isn’t Mexico Rich?”, Journal of Economic Literature, 48:4, pp. 987–1004.

Harrington, W. (1997), "Fuel economy and motor vehicle emissions", Journal of Environmental Economics and Management, 33(3), Julio, pp. 240-252.

Hendry D.F. y M.P. Clements (1999), ***Forecasting non-stationary economic time series***, M.I.T. Press.

Hodrick, R., and E.P. Prescott (1997), “Postwar Business Cycles: An Empirical Investigation,” Journal of Money, Credit, and Banking, 29, 1–16

Hodrick, R.J. y E.C. Prescott (1997*), “Postwar U.S. business cycles: an empirical investigation”*, ***Journal of Money, Credit and Banking***, 29(1), 1-16.

Hondroyanis, G., S. Lolos, y E. Papapetrou (2002). "Energy consumption and economic growth: Assessing the evidence from Greece", Energy Economics, 24, 319-336.

Howarth, R.B., L. Schipper y B. Anderson (1993), “The Structure and Trends and Intensity of Energy Use: Trends in five OECD Nations”, *The Energy Journal*, vol. 14, núm. 2, pp. 27-44.

Islam, N. (1995), *“Growth empirics: A panel data approach”*, ***The Quarterly Journal of Economics***, 110(4), 1127-1170.

INE (Instituto Nacional de Ecología). (2006), *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*.

INE (Instituto Nacional de Ecología). (2008), Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2006. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

IPCC *(1996). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office, Bracknell.

IPCC (2007). *Cambio climático 2007. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

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.

Jensen, B. y K. Wong (eds.) (1997), ***Dynamics, economic growth, and international trade***, The University of Michigan Press.

Johansen, S. (1988)**,** ***"****Statistical analysis of cointegration vectors"*, ***Journal of Economic Dynamic and Control***, vol. 12, 231-254.

Johansen, S. (1992), *"Determination of the cointegration rank in the presence of a linear trend"*, ***Oxford Bulletin of Economics and Statistics***, 54, 383-397.

Johansen, S. (1995), ***Likelihood based inference on cointegration in the vector autoregressive model***, Oxford University Press, Oxford.

Johnston, J. y J. Dinardo (2001), ***Métodos de econometría***, Ediciones Vicens Vives, España.

Jorgenson, D. W. y P.J. Wilcoxen (1993), "Energy, the environment, and economic growth", en Kneese, A., Sweeney, J. (Eds.), Handbook of natural resource and energy economics, vol. III, 1267-1349.

Jorgenson, D. W (1998), *Growth, Energy, The Environment and Economic Growth*, vol. 2, Cambridge, Mas., The MIT Press.

Jorgenson, D.W. y P.J. Wilcoxen (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.

Julio, J.M. (2006), ***Implementación, uso e interpretación del Fan-Chart***, Documento de Investigación, Banco de la República de Colombia, mayo.

Kaya, Y, (1990), "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios". Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.

Kehoe T.T. y K.J. Ruhl, (2010), "Why have economic reforms in Mexico not generated growth?, Journal of Economic literature, 48(4), pp. 1005-1027.

Kelley, A.C. & Schmidt, R.M. (1996). Savings, dependency and development, *Journal of Population Economics*, 9, 365-386.

Khazzoom, J.D. (1995), "An econometric model of the regulated emissions for fuel-efficient new vehicles", Journal of Environmental Economics and Management, 28(2), Marzo, pp. 190-204

King, Robert E. and Levine, Ross (1993a), "Financial Intermediation and Economic Development." in *Financial Intermediation in the Construction of Europe*. Editors: Colin Mayer and Xavier Vives. London: Centre for Economic Policy and Research, pp. 156-89.

King, Robert E. and Levine, Ross (1993b), "Finance and Growth: Schumpeter Might Be Right," *Quarterly Journal of Economics*, 108(3), pp. 717-37.

King, Robert E. and Levine, Ross (1993c), "Finance, Entrepreneurship, and Growth: Theory and Evidence." Journal of Monetary Economics, December, 32(3), pp. 513-42.

Kuik, O.J., Aerts, J., Berkhout, F., Biermann, F., Bruggink, J., Gupta, J. y R.S.J. Tol (2008), *"Post-2012 climate change policy dilemmas: A review of proposals"*, ***Climate Policy***, 8(3), 317-336.

Kwiatkowski, D., Phillips, P.C.B., Schmidt P. e Y. Shin (1992), *"Testing the null hypothesis of stationary against the alternative of a unit root"*, ***Journal of Econometrics***, núm. 54, 159-178.

L. Schrattenholzer, A. Miketa, K. Riahi and R. A. Roehrl, (2007). *Achieving a sustainable global energy system: identifying possibilities using long-term energy scenarios*. ***Edward Elgar Publishing***.

Lucas, R.E. (1988), "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics* 22, 3-42.

Mabey, N. (Editor), Hall, S., Smith, C., Gupta, S., (1997). *Argument in the Greenhouse: The International Economics of Controlling Global Warming*. Routledge**,** Global Environmental Change Series.

Maddala, G.S. e I. Kim (1998), ***Unit roots, cointegration and structural change***, Cambridge University Press.

Mankiw, N.G., Romer, D. y D.N. Weil, (1992), *"A contribution to the empirics of economic growth"*, ***Quarterly Journal of Economics***, CVII, 407 – 437.

Maravall, A. (1999), "Unobserved components in economic time series" en Handbook of Applied Econometrics: Macroeconomics, H. Pesaran y M.R. Wickens (eds.), Blackwell Publishers.

Meehl GA (2005). The importance of land-cover change in simulating future climates. Washington WM. Science. 2005 Dec 9;310(5754):1674-8.

Meehl GA (2005). Amplification of surface temperature trends and variability in the tropical atmosphere.. Science. 2005 Sep 2;309(5740):1551-6. Epub 2005 Aug 11.

Meehl GA (2005). How much more global warming and sea level rise? Washington WM, Collins WD, Arblaster JM, Hu A, Buja LE, Strand WG, Teng H. Science. 2005 Mar 18;307(5716):1769-72.

Mendelsohn, R. (ed.) (2002), ***Global warming and the American economy: A regional assessment of climate change impacts***, MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall.

Mills, T.C. (1990), ***Time series techniques for economists***, Cambridge Univerty Press.

Mills, T.C. (2003), ***Modelling trends and cycles in economic time series***, Palgrave Macmillan, Basingstoke.

Nachane, D. M., R. M. Nadkarni y A. V. Karnik (1988), "Cointegration and Causality Testing of the Energy-GDP Relationship: A Cross-country Study", *Applied Economics*, vol. 20, pp. 1511-1531.

Naraya PK, and Smith R. (2005). “The residential demand for Electricity in Australia: an application of the bounds testing approach to co-integration”. Energy policy.

Newbery, D.M. (1988), “Road user charges in Britain”, The Economic Journal, 98, 161-176.

Ng, S. y P. Perron (1995), *"Unit root tests in ARMA models with data depend methods for the selection of the truncation lag"*, ***Journal of the American Statistical Association***, 90, 268-281.

Nordhaus W. (2008), ***A question of balance: Weighing the options on global warming policies***, Yale University Press, New Haven y London.

Nordhaus, W. (2007), *“A review of the Stern Review on economics of climate change”*, ***Journal of Economic Literature***, 45.

Nordhaus, W. y J. Boyer (2000), ***Warming the world: Economic models of global warming***, The MIT Press.

OECD/IEA, 2010. International Energy Agency. ***Energy Balances of OECD Countries***. (2010 Edition)

Obstfeld M, y K. Rogoff (1996), ***Foundations of International Macroeconomics***, Cambridge MA, MIT Press.

O’Neill, B., et al. (2003), “Planning for future energy resources”. Science, 300, pp. 581-582.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2003), OECD Environmental performance reviews: México, France.

Patterson, K. (2000), An Introduction to Applied Econometric: A Time Series Approach, Palgrave.

Perman, R.J., Y. Ma, J. McGilvray and M. Common (2003), “Natural Resource and Environmental Economics” (Third edition), Addison Wesley Longman.

Phillips, P.C.B. y P. Perron (1988). *"Testing for unit roots in time series regression"*, ***Biometrika***, *75*, 335-346.

Phillips, P.C.B., y D. Sul (2003), ***The elusive empirical shadow of growth convergence***, Cowles Foundation Discussion Paper 1398.

Pindyck, R.S. y D.L. Rubinfeld (1998), ***Econometría: Modelos y pronósticos***, cuarta edición, Mc Graw Hill.

Pouris A. (2008). “Energy and fuels research in South African universities: a Comparative aseessment”. The Open inf Sci

Romer, P.M. (1986), *"Increasing Returns and Long-run Growth"*, ***Journal of Political Economy***, University of Chicago Press, 94(5), 1002-37.

Ros, J. (2004), ***El crecimiento económico en México y Centroamérica: Desempeño reciente y perspectivas***, CEPAL, Serie Estudios y Perspectivas No. 18.

Roula Inglesi (2010). “Aggregate electricity demand in South Africa: Conditional forecasts to 2030”. Applied Energy. El servier.

Rouwendal J., (2002), *“Speed Choice, Car Following Theory and Congestion Tolling”*, Working Paper, No 02-102/3, Tinbergen Institute Discussion Papers from Tinbergen Institute.

Sachs, J.D. y A.M. Warner (1995(a)), *“Economic reform and the process of global integration”*, ***Brookings Papers on Economic Activity***, 1-118.

Sachs, J.D. y A.M. Warner (1995(b)), ***Natural resource abundance and economic growth,*** *NBER*, Working Paper No. 5398.

Secretaría de Energía (SENER) (2007), ***Programa sectorial de energía 2007-2012***, México.

Secretaría de Energía (SENER) (2008), Prospectiva de Petrolíferos: 2008-2017, México.

Secretaría de Energía (SENER) (2009a), Prospectiva del mercado de Gas LP 2009-2024, México

Secretaría de Energía (SENER) (2009b), Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024” México

Secretaría de Energía (SENER) (2010) “Prospectiva de petrolíferos 2010-2025”, México

Secretaría de Energía–Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SENER-SEMARNAT) (2002), ***Programa: Energía y medio ambiente hacia el desarrollo sustentable***, México.

Secretaria 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.

Secretaria 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.

Secretaria 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.

Secretaria 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.

See S.H. Wade. (1999). "Price responsiveness in the NEMS build ing Sector models". In Energy Information administration, issues in midtermn análisis and forecasting. DOE

Solow, R.M. (1956), *"A contribution to the theory of economic growth"*, ***Quarterly Journal of Economics***, 70, 65-94.

Soytas U., and Sari R. (2009). "Energy consumption, economic growth, and carbón emissions: Challenges faced by an EU canadidate menber", Energy Economics. ELSERVER

Soytas, U. y R. Sari (2003), "Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-& countries and emerging markets", **Energy Economics**, 25, 33-37.

Spanos, A. 1986. *Statistical Foundations of Econometric Modelling*. Cambridge MA: Cambridge University Press.

Stern D.I. y R.K. Kaufmann (1996), "Estimates of global anthropogenic methane emissions: 1860–1993", Chemosphere, 33, 159–176.

Stern N. (2007), ***The Economics of Climate Change: The Stern Review***. Cambridge University Press.

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.

Tay, A.S. y K.Wallis (2000), *"Density forecasting: A survey"*, ***Journal of Forecasting***, 19, 235–254.

Tol R. (2009), The Economic effects of climate change",

Sterner, T. (1989), "Factor demand and substitution in a developing country: Energy use in Mexican manufacturing", **Scandinavian Journal of Economics**, 91(4), 723-739.

Tol R. (2009), The Economic effects of climate change”

Stern D.I. y R.K. Kaufmann (1996), “Estimates of global anthropogenic methane emissions: 1860–1993”, **Chemosphere**, 33, 159–176.

Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. y P. Zhai, (2007) “*Observations: Surface and atmospheric climate change”*, en ***Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*** [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., y H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stern, D.I. (2000). “A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy”, **Energy Economics**, 22, 267-283.

Stern N. (2007), ***The Economics of Climate Change: The Stern Review***. Cambridge University Press.

Tay, A.S. y K.Wallis (2000), *“Density forecasting: A survey”*, ***Journal of Forecasting***, 19, 235–254.

Tol R. (2009), The Economic effects of climate change”,

Tol, R. (1993), ***The climate fund: Survey of literature on cost and benefits***, Working Document W93/01, Free University of Amsterdam

Tol, R. (1995), *“The damage cost of climate change toward more comprehensive calculations”*, ***Environmental and Resource Economics***, 5, 353-374.

Tol, R.S.J. y G.W. Yohe (2006), *“A review of the Stern Review”,* ***World Economics***, Vol. 7, No. 4, Octubre–Diciembre.

Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. y P. Zhai, (2007) “*Observations: Surface and atmospheric climate change”*, en ***Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*** [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., y H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Wallis, K. (2003), *"Chi-squared tests of interval and density forecasts, and the Bank of England's fan charts"*, ***International Journal of Forecasting***, 19, 165–175.

Walsh, C.E. (2003), ***Monetary theory and policy***, The MIT Press.

Wigley (2005). The Climate Change Commitment. Science 18 March 2005: Vol. 307 no. 5716 pp. 1766-1769

Woodward, W.A. y H.L. Gray (1995), "Selecting a model for detecting the present of a trend", Journal of Climate, 8, 1929-1937.

Yamaji, K., R. Matsuhashi, Y. Nagata, Y. Kaya, (1991), "An integrated systems for CO2 /Energy/GNP Analysis: Case studies on economic measures for CO2 reduction in Japan. Workshop on CO2 Reduction and Removal: Mea¬sures for the Next Century", **International Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg**, 19-21.