



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ECONOMIA

LA DEMANDA DE ENERGIA Y SU IMPACTO SOBRE EL
CRECIMIENTO ECONOMICO Y EL MEDIO AMBIENTE EN
MEXICO: 1965 - 2002

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN ECONOMIA
P R E S E N T A :
LUIS ALBERTO SANCHEZ JIMENEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS MIGUEL GALINDO PALIZA



CIUDAD UNIVERSITARIA

MEXICO, D.F.

2006

m351251



Universidad Nacional
Autónoma de México

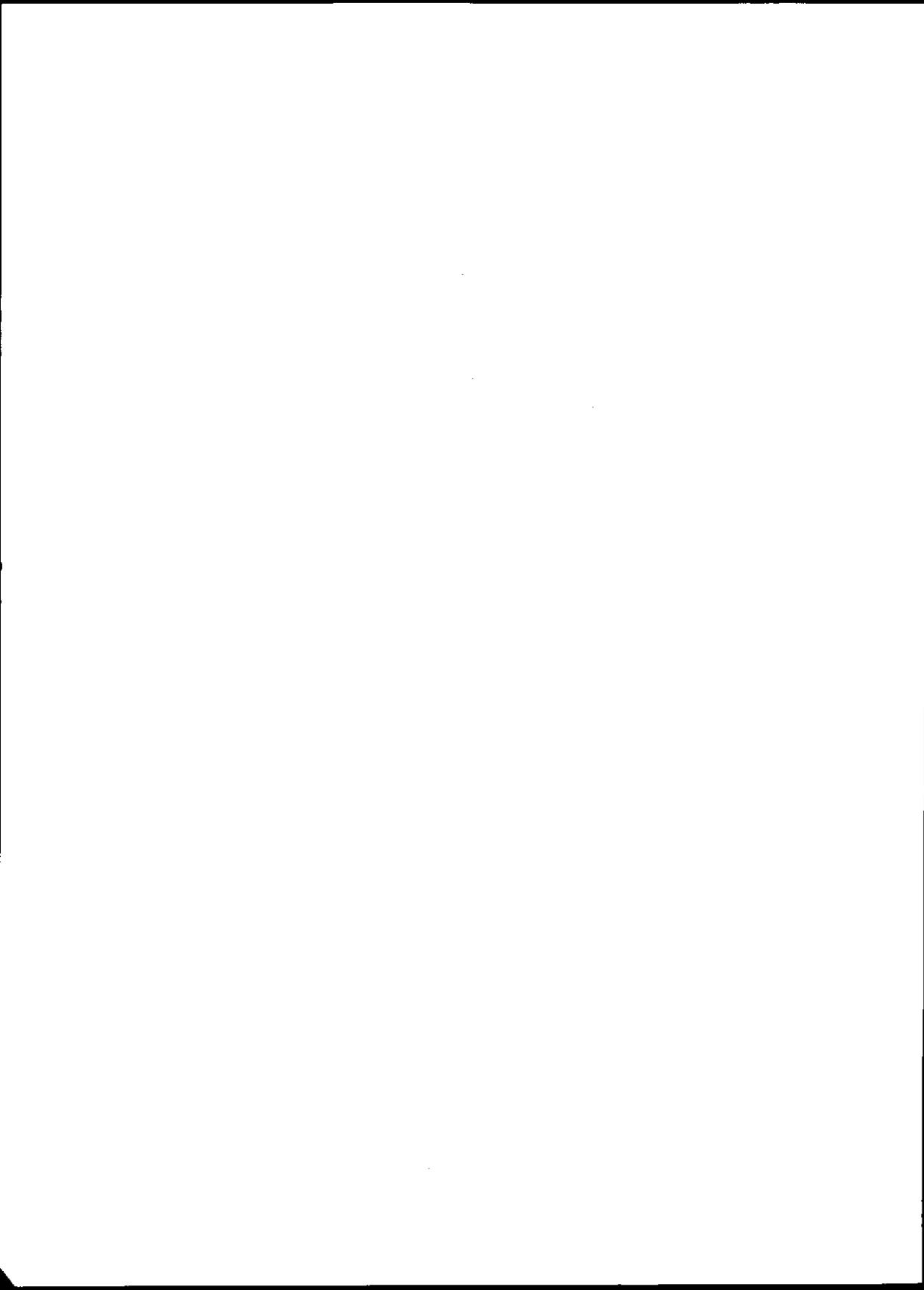


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Bertha y Juan

A mi hermano Armando y a mi primo César

A mis abuelos Esperanza, Miguel, Alejandra (+) y Luis (+)

A mis tías y tíos Gabriela, Guadalupe, Socorro, Catalina, Felipe, Miguel (+), Agustín y Severino

A mis primos Miguel, Isabel, Mauricio, Omar y Gustavo

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Economía

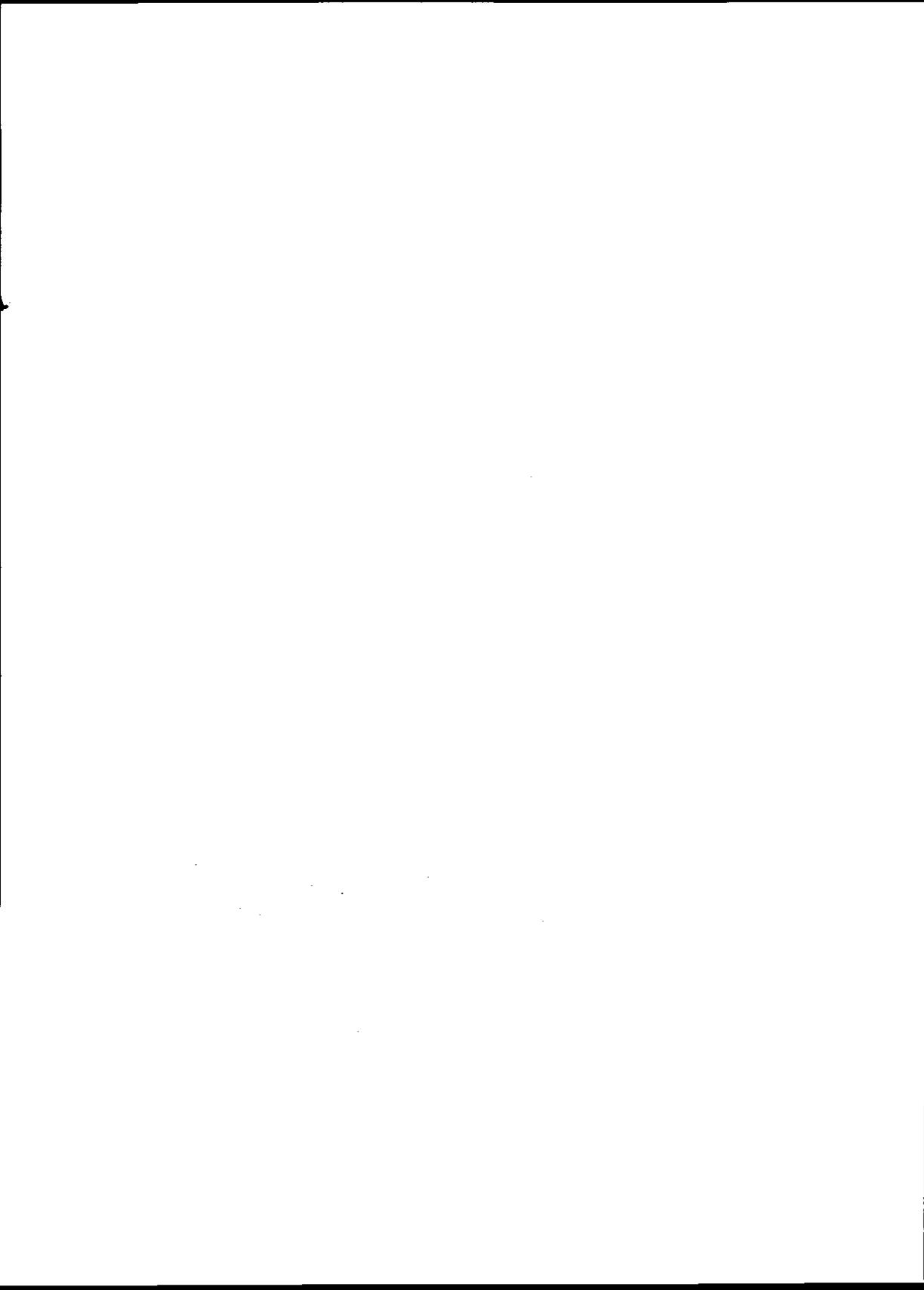
Al Dr. Luis Miguel Galindo Paliza y al Mtro. Horacio Catalán Alonso

A mis sinodales Mtra. Karina Caballero Güendulain, Mtro. Manuel García Álvarez y Lic. Eréndira Corral Zavala

Al Mtro. Armando Sánchez Vargas

A mis amigos Rubén Guerrero, Gustavo Pérez, Yessica Ramos, Eduardo Alatorre, Igor Lugo, Marta Vázquez, Dante Useda, Salvador Rojas, Luis Felipe López, Héctor Vizcarra, Felipe Serrano, César García, Jaime Olivares, Ana Méndez, Andrés Hernández, Aurelio Limón, Orlando Reyes y a Poncho

Al Proyecto PAPIIT IN-305502 "Crecimiento económico y desarrollo en México y Latinoamérica" coordinado por el Dr. Roberto Escalante Semerena



**LA DEMANDA DE ENERGÍA Y SU IMPACTO SOBRE EL
CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO:
1965 - 2002**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Luis Alberto Sánchez

Jiménez

FECHA: 07/12/05

FIRMA: [Firma]



ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I. LA ENERGÍA Y SU IMPORTANCIA EN LA ECONOMÍA Y EL MEDIO AMBIENTE	5
1.1 Introducción	5
1.2 Concepto de energía	6
1.3 Tipos de energía	7
1.3.1 La energía primaria	8
1.3.2 La energía secundaria	11
1.4 La generación de energía	13
1.5 La importancia de la energía en la economía mundial	15
1.6 El impacto del uso de los energéticos en el medio ambiente	25
1.7 Conclusiones	30
CAPÍTULO II. EL USO DE LA ENERGÍA EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE	32
2.1 Introducción	32
2.2 La industria petrolera y la industria eléctrica en México	33
2.2.1 La industria petrolera	33
2.2.2 La industria eléctrica	39
2.3 El caso del gas natural en México	46
2.4 Análisis del comportamiento del consumo de la energía nacional y por sectores y las emisiones de GEI en México	49
2.5 Los principales problemas energéticos y ambientales en México	55
2.6 Conclusiones	59
CAPÍTULO III. ESTIMACIÓN DE LOS MODELOS DE DEMANDA DE ENERGÍA NACIONAL Y POR SECTORES EN MÉXICO: 1965-2002 Y PRONÓSTICOS: 2003-2025	60
3.1 Introducción	60
3.2 Teoría económica: La ecuación de demanda	61
3.2.1 La demanda individual	62
3.2.2 La demanda de mercado	70
3.3 La evidencia empírica de la demanda de energía	73
3.4 Evidencia empírica del consumo de energía en México	78

3.4.1 Consumo nacional de energía	80
3.4.2 Consumo de energía por sectores: agropecuario, industrial, residencial y transporte	91
3.4.3 Pronósticos para el consumo de energía nacional y por sectores	96
3.5 Conclusiones	99
CAPÍTULO IV. EMISIONES DE GEI POR USO DE ENERGÉTICOS EN MÉXICO	101
4.1 Introducción	101
4.2 Comportamiento de los GEI 1990-2000: el caso mexicano	102
4.3 Cálculo de los coeficientes de cambio	105
4.4 Simulaciones de los GEI: 2001-2025	109
4.5 Conclusiones	111
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS	118
ANEXO I	125
A1. Metodología econométrica	125
A1.1 Pruebas de raíces unitarias	125
A1.1.1 Prueba Dickey – Fuller Aumentada (ADF)	126
A1.1.2 Prueba Phillips – Perron (PP)	128
A1.1.3 Prueba KPSS	129
A1.2 Vectores autorregresivos, pruebas de cointegración y modelos de corrección de errores (MCE)	130
A1.3 Prueba de exogeneidad débil	133
A1.4 Prueba de causalidad de Granger	135
A1.5 Análisis impulso – respuesta y descomposición de varianza	137
ANEXO II	139
Cuadro AII.1 Pruebas de raíces unitarias	139
Cuadro AII.2 Criterios de Akaike, Hannan-Quinn y Schwarz para VAR	140
Cuadro AII.3 Pruebas de mala especificación sobre el procedimiento de Johansen (1988) y Hansen y Johansen (1993)	141
Cuadro AII.4 Descomposición de varianza del consumo nacional de energía	142
Cuadro AII.5 Descomposición de varianza del ingreso	142
Cuadro AII.6 Demanda de energía nacional y por sectores 1965 -2025	143
Series y fuentes estadísticas	144

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción y el consumo de los energéticos, desde hace varias décadas, se han convertido en uno de los temas fundamentales en la discusión sobre el crecimiento económico de países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Esto debido a su importancia estratégica y a su relación con algunas variables macroeconómicas relevantes. Sin embargo, el uso de estos energéticos ha tenido consecuencias muy graves. En el caso de algunas economías, ha provocado crisis económicas debido al abastecimiento y el aumento de precios del petróleo. Por otro lado, en lo referente al medio ambiente ha aumentado la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) generando un calentamiento global y contaminación en el aire, agua, suelos y en la fauna. Este efecto es consecuencia parcial del gran abastecimiento de petróleo con precios muy bajos y de las altas tasas de crecimiento del producto de muchos países. No obstante, existen excepciones como en 1973 y en 1979, cuando se presentaron crisis petroleras llevando a la economía global a la recesión. En la actualidad los precios del petróleo siguen afectando a la economía mundial.

En México, desde inicios del siglo XX, el crecimiento económico ha dependido bastante del uso de la energía tanto para las diferentes actividades económicas como para financiar una buena parte de su presupuesto gubernamental a través de las exportaciones de petróleo (Cárdenas, 2000).

En consecuencia existen diferentes posiciones acerca del tipo de política energética que debe adoptar el país debido a la alta correlación entre el PIB y el consumo de energía teniendo en cuenta que los precios de la energía no han sido una buena medida para poder controlar dicho consumo (Galindo y Aroche, 2000). Esto ha generado bastante incertidumbre debido a que los acuerdos internacionales sobre medio ambiente buscan que los países apliquen diferentes medidas para disminuir el consumo de energía y la cantidad de GEI en la atmósfera.

Por lo tanto, México por ser parte de los países No Anexo I ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (OECD, 2003)¹ ha empezado a promover diversos proyectos implementando los Mecanismos de Desarrollo Limpios (MDL) los cuales buscan incentivar la investigación para crear y usar nuevas tecnologías, mejorar y sustituir algunos tipos de energéticos, aumentar el uso de la energía solar y la energía eólica y el compromiso internacional de disminuir las emisiones de GEI (SENER-SEMARNAT, 2002).

La evidencia empírica internacional acerca del consumo de energía ha sido muy poca para los países en desarrollo. En el caso de México, este tema no ha sido analizado lo suficiente encontrándose pocos estudios acerca del mismo como son los casos de Villagómez (1983), Cheng (1997), Galindo y Aroche (2000), Galindo (2005) y Galindo y Sánchez (2005). En términos generales los estudios sobre el uso de la energía de diferentes países han encontrado que existe un efecto causal entre la energía, el crecimiento económico y el aumento de emisiones.

En consecuencia es necesario analizar las relaciones de largo y corto plazos a través de diversos métodos econométricos y realizar pronósticos para conocer un posible escenario del funcionamiento de la economía mexicana y del medio ambiente.

Por lo tanto el objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento de la demanda de energía² nacional y por sectores en la economía mexicana, así como las emisiones asociadas a algunos GEI y su efecto sobre el medio ambiente. El objetivo secundario es realizar pronósticos de las diversas demandas de energía y el comportamiento de las emisiones de gases, así como plantear algunas consideraciones acerca de políticas energéticas para los siguientes años que beneficien tanto la economía mexicana como al medio ambiente.

¹ Los países No Anexo I no están obligados a reducir sus emisiones de GEI de acuerdo a las metas planteadas.

² Los términos demanda y/o consumo de energía se usan indistintamente durante toda esta investigación.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizan técnicas estadísticas y econométricas como las pruebas de diagnóstico (Spanos, 1986), las pruebas de raíces unitarias (Dickey y Fuller, 1981, Phillips y Perron, 1988 y Kwiatkowski, Phillips, Schmidt y Shin, 1992), el procedimiento de cointegración de Johansen (1988) y Hansen y Johansen (1993), pruebas de exogeneidad débil (Engle, Hendry, y Richard, 1983 y Ericsson y Irons, 1994), modelos de corrección de errores (Engle y Granger, 1987), pruebas de causalidad de Granger (1969), análisis de impulso-respuesta (Naka y Tufté, 1997) y el análisis de descomposición de varianza.

Algunas de estas pruebas se realizan con el programa econométrico MALCOLM (Maximum Likelihood Cointegration analysis of Linear Models) (Mosconi, 1998) el cual indica la existencia de cambio estructural en los rangos de cointegración. Además se construyen modelos de corrección de errores para modelar las relaciones de corto plazo.

El trabajo tiene la siguiente estructura: primero está la introducción general; en el Capítulo I se explica el concepto de la energía y sus distintos tipos de energéticos, así como su uso y su importancia en el desarrollo económico y en el medio ambiente; en el caso del Capítulo II se hace una reseña de las industria petrolera y eléctrica, así como del caso del gas natural en México, siendo estos tres energéticos los más fundamentales en el crecimiento económico del país y el medio ambiente, además de analizar cuáles son los principales problemas que enfrenta actualmente el sector energético y las acciones que tomará en el futuro; en el Capítulo III se realiza una revisión a la teoría económica (el caso de la demanda), en seguida se analiza la evidencia empírica de la demanda de energía de algunos países tanto desarrollados como el vías de desarrollo, y para concluir este capítulo se construyen modelos econométricos de demanda de energía en México tanto nacional como por sectores y pronósticos para los próximo veintitrés años; en el Capítulo IV se analizan las emisiones generadas y algunas simulaciones sobre el comportamiento de los principales gases hasta el año 2025. Finalmente se presentan las Conclusiones generales así como algunas consideraciones y comentarios acerca de la política

energética para mejorar el uso de la energía y la disminución de la cantidad de emisiones.

Existe una gran cantidad de información del sector energético para algunos países industrializados y en transición, así como técnicas estadísticas y econométricas para analizar las series y estimar modelos. No obstante en el caso mexicano existen muchos problemas principalmente con la información estadística del sector energético y de las emisiones de gases, ya que las series son muy cortas (series anuales de 1965-2002) debido a la complejidad en la recolección de la información lo cual tarda un poco para disponer de ella lo cual limita bastante el uso de datos para construir los modelos econométricos.

CAPÍTULO I

LA ENERGÍA Y SU IMPORTANCIA EN LA ECONOMÍA Y EL MEDIO AMBIENTE

1.1 Introducción

La energía se ha convertido en un insumo importante para el crecimiento de las economías y para el mejoramiento del nivel de vida de las personas. La energía ha sido utilizada, además, como un instrumento de control político principalmente de los países productores más importantes del planeta lo cual ha provocado situaciones como el desabastecimiento que han provocado aumento en los precios de los energéticos ocasionado movimientos bruscos en los mercados de los energéticos (petróleo principalmente) llevando a la crisis a diversos países e incluso ocasionando guerras por los energéticos generando efectos drásticos sobre la economía mundial (López, 1996).

El uso de los diversos tipos de energéticos, destacando el petróleo, la electricidad y el gas natural, así como la falta de tecnología para su explotación y utilización han generado que aumente la cantidad de emisiones de gases a la atmósfera. Los efectos negativos que ocasionan estos gases sobre la Tierra son diversos. Por lo anterior es necesario analizar cuáles son las soluciones que se han propuesto para disminuir este problema en los siguientes años.

Este capítulo analiza el concepto de energía; los tipos de energéticos más utilizados; las plantas generadoras de energía más comunes en la actualidad; así como los efectos que tiene la energía sobre algunas variables macroeconómicas analizando algunos sucesos mundiales que se han presentado principalmente a partir de la década de los años setenta; y finalmente se analizan los efectos ocasionados por la extracción y el uso de los energéticos sobre el medio ambiente, las posibles soluciones que se han planteado entre países y algunos resultados de éstos en el combate a las emisiones de gases invernadero, principalmente del bióxido de carbono.

1.2 Concepto de energía³

Existen muchas definiciones acerca de lo que es la energía, pero una de las más completas es la siguiente: la energía se define como la capacidad de los cuerpos o sistemas de cuerpos para poder realizar un trabajo, la cual se mide en proporción a la fuerza que se aplica a un objeto y la distancia que se desplaza con motivo de esta acción. La energía se presenta en diferentes formas como calor, electricidad, luz, movimiento, etc.

La energía puede ser medida en diferentes unidades dependiendo del tipo de energético por ejemplo en barriles, toneladas, pies cúbicos, litros, watts-hora, etc. Estas mediciones, para fines contables, hacen difícil comparar los distintos tipos de energéticos entre sí. Por lo tanto se utilizará una unidad de medida común entre ellos como es el caso del joule.⁴

En el caso mexicano los distintos energéticos, que se presentan en el Balance Nacional de Energía realizado por la Secretaría de Energía (SENER), están calculados en petajoules (10^{15}). A continuación en el Cuadro 1.1 se presentan algunas de las equivalencias de energía.

Cuadro 1.1
Equivalencias de energía

<i>1 caloría = 4.1868 joules</i>	
<i>1 megawatt-hora (Mwh) = 3,600 megajoules</i>	
Prefijos metricos	Multiplos
E Exa	(10^{18})
P Peta	(10^{15})
T Tera	(10^{12})
G Giga	(10^9)
M Mega	(10^6)
K Kilo	(10^3)

Fuente: Balance Nacional de Energía 2001, SENER

³ Algunos puntos en los subtemas del 1.2 hasta el 1.4 fueron escritos con información de la Secretaría de Energía, Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad proporcionada en sus páginas web correspondientes y en diferentes publicaciones y revistas.

⁴ Un joule se define como la cantidad de energía que se necesita para poder mover un kilogramo de masa en una distancia de un metro con una aceleración de un metro por segundo al cuadrado.

1.3 Tipos de energía

Existen distintos tipos de energía los cuales han sido utilizados para satisfacer necesidades tanto básicas como complejas, es decir se ha utilizado la energía para producir calor e iluminación, en otras palabras, para preparar alimentos, para la calefacción ambiental, para la utilización de calor en los procesos industriales, así como para realizar trabajo mecánico, etc. Las diferentes formas de energía se presentan a continuación:

- (a) *Energía térmica y calorífica*: Genera calor cuando el energético se quema, en donde la fuente de energía más importante en este rubro es el sol, así como los hidrocarburos, el carbón y el núcleo del átomo en el caso de la energía térmica.
- (b) *Energía mecánica*: Es aquella que poseen los cuerpos en movimiento, un ejemplo, las corrientes de agua.
- (c) *Energía radiante*: Es emitida por la materia y capaz de viajar a velocidades hasta 300,000 kilómetros por segundo la cual genera luz que es la forma más común de este tipo de energía.
- (d) *Energía química*: Es generada cuando dos o más elementos se combinan generando una reacción química, también cuando se absorbe o se libera los elementos de un compuesto, por ejemplo con la quema de hidrocarburos, gas natural y/o carbón se genera calor y gases contaminantes como el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O), entre otros.
- (e) *Energía eléctrica*: Proviene principalmente de la naturaleza, teniendo como ejemplo las descargas atmosféricas conocidas como rayos. Esta forma de energía es muy difícil de utilizar por lo que se ha optado por generar electricidad a través de otros métodos.

Tomando en cuenta las diversas fuentes anteriores de energía que se definen como aquellas que generan energía utilizable a través de métodos directos o mediante transformaciones se dividen en dos grandes grupos: la energía primaria y la secundaria.

1.3.1 La energía primaria

La energía primaria está compuesta por distintos tipos de energía los cuales se obtienen directamente de la naturaleza o a través de procesos de extracción que son utilizados para consumirse en forma directa o para generar productos secundarios.

Como fuentes de energía primaria tenemos:

- *Carbón mineral*: Su origen proviene de la degradación de organismos durante una gran cantidad de tiempo. Es sólida de color negro o marrón y contiene carbono y algunas cantidades de hidrógeno, nitrógeno, azufre, entre otros elementos. El carbón puede ser de tipo siderúrgico el cual tiene un bajo contenido de cenizas y es muy fácil convertirlo en coque, o de tipo térmico el cual tiene grandes cantidades de ceniza y es empleado para la generación de energía eléctrica.
- *Petróleo crudo*: Es el más importante de los energéticos. Su nombre proviene del latín *petroleum* que significa aceite de piedra (petra-piedra y oleum-aceite). Su forma es líquida aceitosa de color entre ámbar y negro y se presenta como fluido viscoso y está formado por carbono de 76 a 86% y de 10 a 14% de hidrógeno. Se puede encontrar en los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso dependiendo de la temperatura, composición y la posición en la que se encuentre en el subsuelo. Contiene algunas impurezas mezcladas como oxígeno, nitrógeno y azufre. También proviene de la degradación de organismos animales y vegetales durante un largo período de tiempo y se encuentra almacenado en el interior de la

corteza terrestre. En el subsuelo se encuentra generalmente encima de una capa de agua y en la parte superior se encuentra una capa de gas.

El petróleo recién extraído no sirve como energético debido a que necesita altas temperaturas para arder por su composición de hidrocarburos de más de cinco átomos de carbono (hidrocarburos líquidos). El petróleo se utiliza principalmente como materia prima para procesarlo en refinerías y transformarlo en derivados y en actividades de extracción.

En consecuencia para aprovecharlo como energético se debe fraccionar en diferentes combustibles como gasolina, turbosina, diesel, gasavión, gasóleo ligero y pesado, entre otros. El petróleo crudo tiene la siguiente clasificación:

Cuadro 1.2
Clasificación de los hidrocarburos líquidos

	Densidad (gr/cm ³)	Densidad (grados API)
Extrapesado	> 1.0	10.0
Pesado	1.0 – 0.92	10.0 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39.0
Superligero	< 0.83	> 39.0

Notas: Densidad API = American Petroleum Institute la cual es utilizada a nivel mundial para expresar la densidad de los hidrocarburos líquidos.
Fuente: Balance Nacional de Energía 2001, SENER.

El petróleo que México produce y exporta es de tres tipos de acuerdo a la clasificación anterior:

- *Olmeca*: Petróleo crudo muy ligero con densidad de 39.3° API y 0.8% de azufre.
- *Istmo*: Petróleo crudo ligero con densidad de 33.6° API y 1.3% de azufre.
- *Maya*: Petróleo crudo pesado con densidad de 22° API y 3.3% de azufre.

- *Condensados*: Son compuestos líquidos obtenidos de los procesos de separación de los productores de gas asociado, incluyendo líquidos recuperados en gasoductos que se condensan por el transporte del gas asociado. Su composición fundamentalmente es de pentanos y líquidos más pesados. Los condensados se dividen en amargos ya que contienen gases ácidos que están junto con los hidrocarburos y los dulces que son los condensados que han sido procesados para eliminar los gases ácidos. Para su proceso y fraccionamiento es necesario enviarlos a refinerías y a plantas de gas.
- *Gas natural asociado*: 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.
- *Gas no asociado*: Es una mezcla gaseosa de hidrocarburos que está compuesta básicamente por metano⁵. Se utiliza como combustible en los sectores industrial, comercial y residencial.
- *Nucleoenergía*: Es la energía que se encuentra en el mineral de uranio el cual ha pasado por un procesamiento de purificación y enriquecimiento. Se utiliza en los reactores nucleares.
- *Hidroenergía*: Es la energía potencial de un caudal hidráulico. Para poder calcular la hidroenergía se divide la generación bruta de electricidad entre la eficiencia del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
- *Geoenergía*: Este tipo de energía se utiliza principalmente para generar electricidad y se encuentra bajo la superficie terrestre en forma de calor y que sale a la superficie en forma de vapor.

⁵ El metano es un hidrocarburo parafínico, es decir, es el hidrocarburo que no reacciona con otros compuestos que contiene más átomos de hidrogeno por átomo de carbono (Pangtay, 2002).

- *Energía eólica*: Es la energía generada por la fuerza del viento que es transformada mediante una turbina y un generador.
- *Bagazo de caña*: Es la fibra que se obtiene inmediatamente después de extraer el jugo de la caña de azúcar.
- *Leña*: Se obtiene mediante los recursos forestales como troncos, ramas de árboles y arbustos. Se utiliza de manera directa en el sector residencial principalmente en la preparación de alimentos y calefacción.

1.3.2 La energía secundaria

La energía secundaria está conformada por los energéticos primarios que son transformados para ser utilizados en el consumo final. Entre los energéticos más importantes tenemos los siguientes:

- *Coque de carbón*: Se obtiene de la destilación del carbón siderúrgico. Tiene forma sólida y contiene una gran cantidad de carbono. Se divide en metalúrgico, nuez y fino los cuales se obtienen en hornos de recuperación y es utilizado en la industria siderúrgica.
- *Coque de petróleo*: Se obtiene de la refinación del petróleo. Su forma es sólida y porosa compuesta aproximadamente de 92% de carbono y 8% 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.
- *Gas licuado de petróleo (Gas LP)*: Está compuesto de propano, butano o de una mezcla de ambos⁶. Se obtiene de la destilación del petróleo y del

⁶ El propano y el butano están formados por hidrocarburos compuestos de tres y cuatro átomos de carbono respectivamente (Pangtay, 2002).

tratamiento de los líquidos del gas natural. Es fácil de almacenar en cilindros y/o en tanques estacionarios y de transportar. Este tipo de gas es utilizado en los sectores residencial, comercial y de transporte.

- *Gasolinas y naftas:* Son combustibles líquidos y ligeros obtenidos de la destilación del petróleo y del tratamiento del gas natural. Entre este tipo de combustibles están las gasolinas para automóviles (mezcla de naftas relativamente volátiles para su uso en motores de explosión o también llamados de combustión interna), gasolinas para aviones (mezcla de naftas con elevado octanaje⁷, volatilidad y bajo punto de congelamiento para utilizarse en motores de pistón), gasolinas naturales (se obtienen del procesamiento del gas natural y es utilizado principalmente en la industria petroquímica o mezclado con naftas) y las naftas (se consiguen mediante el procesamiento del petróleo y del gas natural y son utilizadas principalmente en la industria petroquímica como solvente o limpiador). En general estos combustibles tienen un rango de ebullición entre los 30 y 200°C.
- *Querosenos:* Están compuestos por la fracción del petróleo que se destila entre 150 y 300°C. Se dividen en dos tipos: turbosina (combustible que se utiliza en el motores de turbina en el transporte aéreo) y otros querosenos (querosén común que se utiliza para la cocción de alimentos, alumbrado, motores, solventes, etc.).
- *Diesel:* Es obtenido de la destilación del petróleo con una fracción entre los 200 y 380°C. Se utiliza principalmente en motores de combustión interna tipo diesel de los automóviles y en la industria.

⁷ Los índices de octano u octanajes sirven para medir la detonación de los compuestos que componen la gasolina. El compuesto de ocho átomos de carbono (isooctano) es el que tiene la menor detonación y se le asigna un valor de 100, por ejemplo si un tipo de gasolina tiene características detonantes similares a una mezcla en 90% de isooctano y 10% de heptano normal (siete átomos de carbono) se le asigna un índice octano de 90 (Pangtay, 2002).

- *Combustóleo:* Se extrae de la refinación residual del petróleo. Se divide en pesado, intermedio y ligero. Se utiliza en la generación de electricidad, motores para navegación y calderas.
- *Gas natural:* Es una mezcla de hidrocarburos compuesta por metano y pequeñas cantidades de etano. Se obtiene en yacimientos en solución o en fase gaseosa con el petróleo crudo (gas asociado) o en yacimientos en donde no existe aceite (gas no asociado). Este tipo de gas no tiene olor por lo que se le agregan odorantes químicos para detectarse en caso de fuga. Su combustión es completa y limpia por lo que no emite bióxido de azufre. Es utilizado en la petroquímica como materia prima para producir metanol y amoníaco principalmente en la industria de los fertilizantes y como combustible en la industria de la cerámica, textil, química, cemento, vidrio y cerámica. También se usa en los sectores del transporte y residencial y en la generación de energía eléctrica debido a su mayor eficiencia térmica en plantas de ciclo combinado.
- *Electricidad:* Es la energía producida por electrones en movimiento. Dentro de este tipo de energía se encuentra la producida por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y por los Productores Independientes de Energía (PIE).
- *Productos no energéticos:* Entre estos se encuentran las grasas, los lubricantes, los asfaltos, azufre, el etano, el butano-butileno, el propano-propileno y materia prima para humo negro. Se utilizan como insumos debido a su bajo contenido energético.

1.4 La generación de energía

Para poder transformar los diferentes energéticos primarios y crear nuevas formas de energía que serán empleadas en las distintas actividades se necesitan diversos centros de transformación que están diseñados dependiendo del tipo de energía que

se necesita transformar y obtener. Entre los principales centros de transformación se encuentran:

- *Refinerías:* Plantas en donde se separa el petróleo crudo en diferentes componentes como son las gasolinas, naftas, el gas de refinerías, el gas licuado de petróleo, querosenos, diesel, coque de petróleo, combustóleo y productos no energéticos.
- *Coquizadoras:* En estas plantas se obtiene el coque mediante la combustión del carbón mineral y de otros materiales carbonosos.
- *Plantas de gas:* En estos centros se separan los componentes del gas natural asociado y de los condensados para conseguir gasolinas, naftas, butano, propano, etano y productos no energéticos.
- *Centrales eléctricas:* Están integrados por unidades de generación, equipos auxiliares, subestaciones y equipos de transmisión de electricidad. Existen diversos tipos de centrales dependiendo del tipo de fuente energética que utilicen para producir electricidad. Entre las más importantes se encuentran:
 - *Centrales hidroeléctricas:* Funcionan mediante el principio de turbinas hidráulicas que son rotadas por el impulso del flujo del agua lo cual activa los generadores y se crea electricidad.
 - *Centrales termoeléctricas:* Funcionan con la combustión de productos petroleros, de gas natural y/o gas asociado y de carbón para generar vapor de agua, que se convierte en energía eléctrica cuando se expande por una turbina.
 - *Centrales de turbogas:* Funcionan a través de la expansión de aire y gases de combustión comprimidos a altas temperaturas mediante una

turbina que está conectada a un rotor del generador creando electricidad.

- *Centrales de ciclo combinado:* Están constituidas por dos tipos de unidades generadoras: vapor y turbotas. Su funcionamiento depende de la combustión de gas y el calentamiento de agua.
- *Centrales diesel:* Funcionan con el principio de los motores de combustión interna, es decir aprovecha la expansión de los gases producidos por la combustión obteniendo energía mecánica que es transformada por un generador en electricidad.
- *Centrales nucleoelectricas:* Funcionan de manera similar a la central termoeléctrica, pero en este caso el vapor es generado por el calor producido a partir de una reacción nuclear de fisión mediante la utilización de uranio dentro de un reactor nuclear.
- *Centrales geotermoeléctricas:* Su funcionamiento es parecido al de una planta termoeléctrica pero sin un generador de vapor debido a que la turbina funciona a través del aprovechamiento del potencial geotérmico que está almacenado en el subsuelo en forma de vapor de agua.
- *Centrales eolieléctricas:* Funcionan a base de una aeroturbina que hace girar un generador convirtiendo la fuerza del viento en energía eléctrica.

1.5 La importancia de la energía en la economía mundial

El consumo de energía ha sido uno de los elementos fundamentales para el desarrollo y crecimiento económico de muchos países desde hace varias décadas. Cuando en un país comienza el desarrollo en su estructura económica las actividades primarias como la agricultura empiezan a emplear pocas cantidades de

energía generadas por los mismos seres humanos y de los animales ayudados con cierto tipo de herramientas. Posteriormente en el siglo XIX con la revolución industrial aumentó la cantidad de energía empleada y el carbón sustituyó a otros tipos de energéticos vegetales y de otras fuentes. Junto con lo anterior la tecnología mejora creando nuevas máquinas y sustituyendo parte de la mano de obra haciendo más productivas las actividades económicas (López, 1996).

A partir de la década de los años veinte el carbón comenzó a ser sustituido por los hidrocarburos debido a que la ventaja en su uso, transporte y almacenamiento era mayor. Con esto la tecnología fue perfeccionándose cada vez más pasando de máquinas de vapor a motores de explosión. Con estas nuevas tecnologías, una producción de petróleo abundante y los bajos precios del energético provocaron altas tasas de crecimiento en el producto interno de algunos países⁸ impulsado por los diversos sectores que consumían grandes cantidades de energéticos, como es el caso del sector industrial, convirtiéndose así en potencias mundiales.

A principios de la década de los cincuenta el mercado del petróleo estaba dominado por un cártel integrado por las empresas Standard Oil of New Jersey, Mobil Oil, Gulf Oil, Texaco, Cocal, BP y Shell que funcionaban como un oligopolio, es decir controlaban la producción y el precio del petróleo y se protegían de la entrada de nuevas empresas al mercado de los hidrocarburos, imponiendo sus reglas tanto en los países productores como en los países consumidores.

Al terminar la segunda guerra mundial los países productores se percatan del potencial que tiene el petróleo y buscan obtener beneficios a través de las exportaciones de petróleo.

En los siguientes años con la disminución de los precios petroleros los ingresos de los países productores comenzaron a disminuir considerablemente. La entrada de las empresas nacionales y privadas favorecieron a los países consumidores debido a que podían conseguir el energético a un precio menor.

⁸ Entre estos países destacan principalmente los Estados Unidos, algunos países de Europa Occidental y Japón.

A causa de lo anterior, en septiembre de 1960 en Bagdad, varios países que tenían características comunes de ser países en desarrollo, exportadores de grandes cantidades de petróleo de las cuales depende su presupuesto gubernamental y que tenían dificultades para poder explotar su industria petrolera formaron la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo)⁹. Esta organización tiene como objetivos controlar la producción y los precios del petróleo así como implementar un sistema común fiscal.

Para saber como ha sido el desempeño de la energía a nivel global es importante mencionar que la producción de petróleo se ha convertido en una de las actividades estratégicas para el crecimiento y desarrollo de la economía mundial esto debido a la existencia de grandes yacimientos de petróleo, a la facilidad para transformarlo en otros tipos de energéticos, a la innovación tecnológica que se origina por su uso y al utilizarlo como instrumento de control para fines económicos y políticos de los países productores hacia los grandes países consumidores de petróleo.

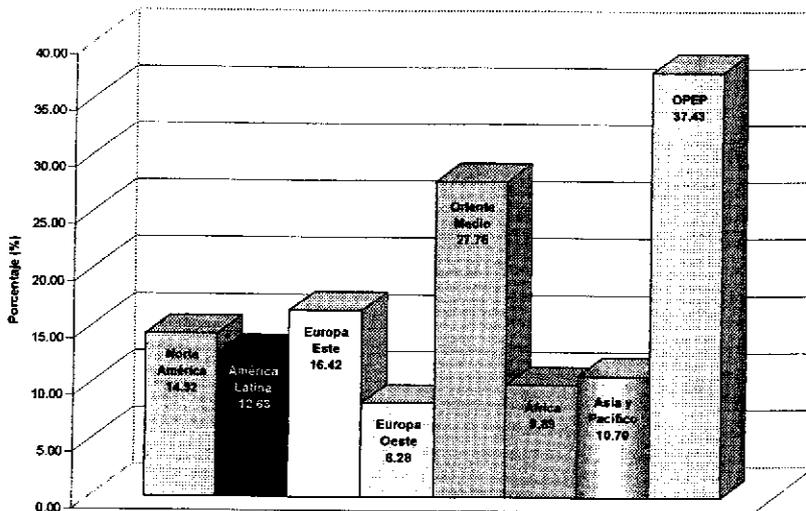
Por lo tanto, los datos señalan que el gran productor de petróleo crudo es la OPEP con una participación porcentual de 37.43% de la producción mundial aproximadamente (Gráfica 1.1), esto debido a que esta organización se encuentra conformada por países que disponen de una gran cantidad de petróleo en su territorio y son los principales abastecedores y determinantes de precio del energético a nivel internacional.

En cuanto a la participación por regiones el Medio Oriente es el principal productor con un 27.75% ya que en dicha región se encuentran grandes países productores a nivel mundial destacando Irak, Irán, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita; seguidos de Europa del Este y Norte América con 16.42 y 14.32%

⁹ La OPEP al principio estaba conformada por Arabia Saudita, Irán, Iraq, Kuwait y Venezuela después se integraron Qatar (1961), Libia (1962), Indonesia (1962), Emiratos Árabes Unidos (1967), Argelia (1969) y Nigeria (1971) estos países son miembros hasta la fecha, en cambio Ecuador fue miembro de 1973 hasta 1992 y Gabon de 1975 hasta 1994 (OPEC, 2005).

respectivamente. En el caso de América Latina es la tercera región productora de este energético, destacando países como Venezuela, México, Ecuador y Brasil.

Gráfica 1.1
Producción de petróleo por regiones 1983 – 2003



Fuente: OPEC Annual Statistical Bulletin 2003.

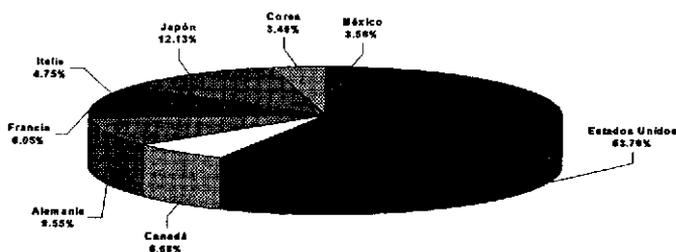
Por lo tanto, teniendo en cuenta la aportación de cada región en la producción de petróleo mundial y su importancia en la economía es importante analizar cuál ha sido el comportamiento de la demanda total de energía total, del consumo de petróleo y del consumo de la electricidad en algunos países. En consecuencia, los países a analizar son los siguientes: México, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, Italia, Japón y Corea.

En la Gráfica 1.2 se puede apreciar que de los países analizados Estados Unidos es el principal consumidor de energía con una participación porcentual de más del cincuenta por ciento con respecto al total. En orden de importancia se encuentra Japón (12.13%) y Alemania (9.55%). Una de las causas de este significativo

consumo se debe a que estos países presentaron un desarrollo y crecimiento más dinámico durante los años analizados debido a que son países tanto productores como importadores de energéticos. En el caso de México su participación es similar a la de Corea con más del 3%, este porcentaje está aún por debajo de los demás países como Canadá e Italia.

Gráfica 1.2

Participación porcentual del consumo total de energía 1987 - 2000 para México, Estados Unidos, México, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, Italia, Japón y Corea

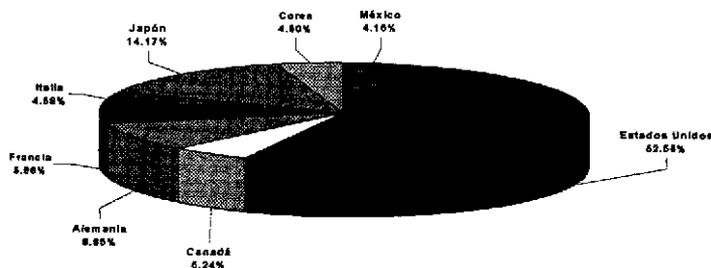


Fuente: Energy Balances of OECD countries 1999-2000, Edition 2002.

En el caso del consumo total de petróleo (Gráfica 1.3) el principal consumidor es Estados Unidos con una participación del 52.56% seguido, nuevamente, de Japón (14.17%). En el caso de los demás países a excepción de Alemania tienen una participación porcentual entre cuatro y seis por ciento. Es importante señalar que México y Corea tienen prácticamente la misma participación porcentual.

Gráfica 1.3

Participación porcentual del consumo total de petróleo 1987 - 2000 para México, Estados Unidos, México, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, Italia, Japón y Corea

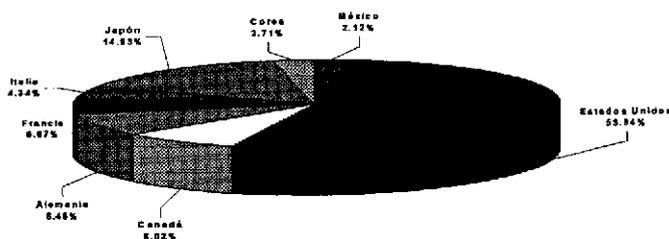


Fuente: Energy Balances of OECD countries 1999-2000, Edition 2002.

Para el caso del consumo total de energía eléctrica se puede observar en la siguiente gráfica (Gráfica 1.4) que Estados Unidos es el principal consumidor de electricidad durante el período 1987-2000, seguido de Japón con una participación de cerca del 15% aproximadamente. Es importante señalar que México tiene una participación porcentual muy similar a la de Corea con aproximadamente un 2% con respecto al total siendo estos dos junto con Italia los países que consumen cantidades de electricidad relativamente menores que las de otros países.

Gráfica 1.4

Participación porcentual del consumo total de petróleo 1987 - 2000 para México, Estados Unidos, México, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, Italia, Japón y Corea



Fuente: Energy Balances of OECD countries 1999-2000, Edition 2002.

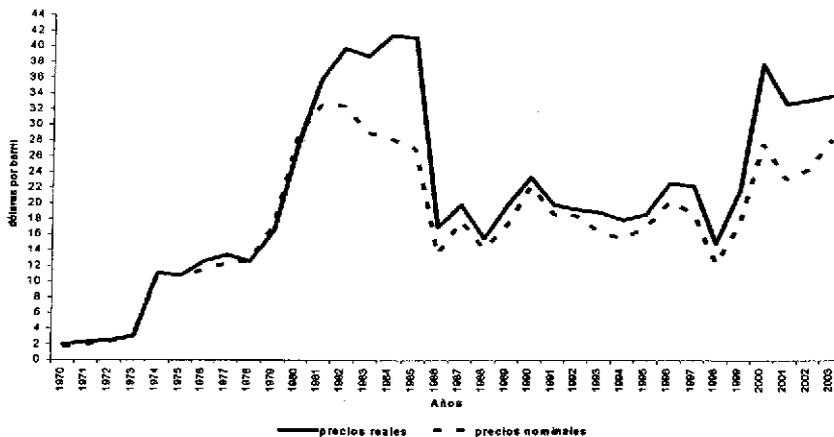
Tomando en cuenta el análisis anterior se puede decir que en general el consumo total de energía, de petróleo y de electricidad es mayor en Estados Unidos y en una menor medida en Japón debido a que son dos de los más importantes economías desarrolladas, las cuales dependen de grandes cantidades de energéticos para poder llevar a cabo sus actividades productivas así como para realizar las diversas necesidades que su población requiere para tener un mejor nivel de vida. En el caso de México se puede decir que su consumo es similar en cantidad al utilizado por Corea debido a que el principal uso de los energéticos es por los sectores industrial y residencial en el caso del consumo de electricidad. A diferencia de Corea, México es un país exportador de petróleo muy importante en América Latina y en el mundo, caso contrario a Corea que es un país que principalmente se dedica a importarla de otros países para poder llevar a cabo sus actividades principalmente en lo referente al sector productivo.

Es importante conocer la relación que existe entre países productores y consumidores para saber cuál es el comportamiento que tiene las economías de algunos países. En efecto, la producción y los precios del petróleo juegan un papel importante en el crecimiento económico de las naciones debido a la relación que tienen con las principales variables macroeconómicas. Es decir, el efecto de los precios del petróleo pueden llevar a los países a una recesión o a la crisis económica como se verá a continuación.

Se dice que ante un aumento en los precios del petróleo los países productores tendrán un incremento en sus ingresos. Sin embargo en el caso de los países importadores ocasionará que aumenten los precios de los insumos y el índice de precios en general, lo que provocará que se incrementen los costos en la producción, caen los salarios reales, se aumentan los salarios nominales y el desempleo, generando un desincentivo por la demanda del petróleo, aumenta el déficit en la cuenta corriente y disminuye la inversión, la recaudación de impuestos es insuficiente aumentando el déficit fiscal, se aplican políticas contraccionistas por parte de los gobiernos y los bancos centrales, incrementan las tasas de interés, se modifican los tipos de cambio, teniendo como resultado final la caída del producto nacional (Krugman y Obstfeld, 2001 y IEA, 2004).

Por lo anterior, es importante señalar cuáles han sido los efectos del aumento de los precios del petróleo sobre la economía mundial principalmente a partir de los años setenta. La gráfica que se presenta a continuación (Gráfica 1.5) ayudará a analizar los efectos.

Gráfica 1.5
Precios reales y nominales del petróleo crudo OPEP 1970 – 2003



Nota: El precio del petróleo de la OPEP fue introducido en enero de 1987 y está compuesto por el promedio aritmético de siete tipos de petróleo crudo: Saharan Blend (Argelia), Minas (Indonesia), Bonny Light (Nigeria), Arab Light (Arabia Saudita), Dubai (Emiratos Árabes Unidos), TJ Light (Venezuela) e Istmo (México). México no es miembro de la OPEP.

Fuente: OPEC Annual Statistical Bulletin 2003.

En 1970 la producción de petróleo en general disminuyó, esto provocó que Nigeria e Irán incrementaran su suministro lo cual no fue suficiente generando una subida en los precios del petróleo. Este aumento fue gradual, pero en octubre de 1973 se inicia la guerra Árabe-Israelí lo que ocasionó que un subgrupo de la OPEP llamado OPAEP integrado por varios Estados Árabes disminuyeron la producción y suspendieron el abastecimiento de petróleo a Estados Unidos y Holanda por ser aliados de Israel; esto creó oportunidades de obtener más ingresos por parte de los países de la OPEP y la preocupación por parte de los consumidores. Esto provocó que el precio de los energéticos aumentara en términos reales un poco más del 256% en el periodo de 1973 – 1975 desencadenando la primera crisis petrolera.

Esto generó un aumento en los costos de funcionamiento de las empresas generando inflación, déficit en la balanza comercial, caída en la producción, llevando

a los países a la recesión (Krugman y Obstfeld, 2001). En los siguientes años el precio del energético no se pudo estabilizar aumentando considerablemente como se muestra en la Gráfica 1.5.

En 1979 nuevamente se presentan problemas con los países de la OPEP. En esta ocasión Irán suspende sus exportaciones y Arabia Saudita limita su producción por razones políticas. El precio del crudo aumentó de 1979 a 1982 en 141.2%, lo que incrementó las tasas de inflación y cayó el producto de varios países entrando otra vez la economía mundial en recesión.

En 1982 se presenta abundancia de petróleo y el aumento de precios continuaba, lo anterior debido a que los países productores de la OPEP no disminuyeron sus exportaciones ya que dependían de ellas para poder obtener recursos monetarios, además de la competencia en el mercado del petróleo por parte de los países no miembros.

De 1976 a 1984 los precios cayeron considerablemente de 41.4 a 16,9 dólares por barril, es decir, cerca de un 60% a consecuencia del incremento de la producción de Arabia Saudita. En 1990 se presenta otro incremento con la invasión a Kuwait. Después de este suceso los precios se mantienen entre los 14 y 22 dólares por barril. Nueve años después los precios del crudo aumentan nuevamente pasando de 12.3 a 37.76 dólares por barril para el año 2000 debido a otra restricción en la producción.

Actualmente los precios continúan su tendencia creciente debido a los cortes de producción de OPEP, la tensión política que existe en Venezuela y a las escasas existencias de petróleo de algunos países para poder continuar con sus actividades económicas en los siguientes años.

1.6 El impacto del uso de los energéticos en el medio ambiente

Desde la revolución industrial hasta la actualidad las actividades económicas han hecho un uso intensivo de los energéticos. La energía ha contribuido al desarrollo económico de algunos países convirtiéndose en la materia prima y bien de uso final más importante favoreciendo los sectores públicos y privado, así como al mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Como resultado de este uso se ha incrementado la cantidad de emisiones de GEI como son el CO₂ (bióxido de carbono), el CH₄ (metano) el N₂O (óxido nitroso) y los CFC 11 y 12 (hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SFG) o clorofluorocarbonos o gases fabricados con metano, etano ó otileno y propano). Los gases invernadero son emitidos por la actividad vegetal¹⁰ y por otras actividades humanas como se muestra en el Cuadro 1.3.

Cuadro 1.3
Principales fuentes de los gases invernadero

Fuentes de emisión	Tipos de gases	Contribución porcentual a los gases invernadero
Combustibles fósiles y deforestación	CO ₂	55 %
Gas natural, carbón, quema de biomasa y cultivo de arroz	CH ₄	15 %
Combustibles fósiles, quema de biomasa y agricultura	N ₂ O	4 %
Sistemas de refrigeración, aerosoles y solventes	CFC-11 y CFC-12	7 % (CFC-11) 12 % (CFC-12)

Fuente: Solow (1993), Nordhaus (1993) y Chémery (2003).

¹⁰ En el caso de la vegetación, ésta absorbe carbono para llevar a cabo su crecimiento mediante la fotosíntesis (conversión del agua, el carbono de la atmósfera y la radiación solar en materia orgánica). Posteriormente el bióxido de carbono es arrojado nuevamente a la atmósfera con la putrefacción de los vegetales.

De estos gases destaca el bióxido de carbono que es producido por la quema de combustibles fósiles y que contribuye en más del 55% de las emisiones, seguido del gas metano el cual se ha estado incrementando debido al constante uso que actualmente se está haciendo del gas natural.

Este tipo de gases junto con el vapor de agua crean el llamado efecto invernadero el cual se define como el proceso de calentamiento de la atmósfera debido a la absorción de la radiación solar por parte de los gases atmosféricos. Este efecto hace que la temperatura media de la Tierra sea de 13°C ya que sin esto la temperatura promedio sería de -18°C (Chémery, 2003).

Debido a la modificación en la cantidad de los GEI se ha originado un sobrecalentamiento global ocasionado un cambio climático global que ha tenido efectos sobre la superficie terrestre, como la elevación de la temperatura llegando a ser extremas en algunas regiones, modificaciones en la temperatura del aire y los suelos, cambio en el régimen de lluvias, destrucción de las áreas boscosas y para la agricultura y la ganadería, así como problemas en la salud humana en el sistema respiratorio, nervioso, en la visión y en la piel, principalmente (Nordhaus, 1993).

Teniendo en cuenta los efectos del incremento de gases invernadero por el uso de la energía, los gobiernos de varios países tanto industrializados como en transición han acordado reducir la cantidad de estos gases. La búsqueda de soluciones comenzó con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) en 1992. En la Conferencia de Kioto, en 1997, 141 países acordaron que para mitigar las emisiones de gases debían hacerse profundos cambios en la producción y en el uso mundial de los energéticos. Es importante señalar que Estados Unidos, el país que emite la mayor cantidad de gases invernadero en el mundo, ha desconocido el Protocolo argumentando que las medidas tomadas son ineficaces y que afectan el desempeño de la economía mundial. El Protocolo entró en vigor el 16 de febrero de 2005 buscando que los países industrializados entre los que destacan la Unión Europea, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Rusia disminuyan las emisiones de gases 5.2% de 2008 a 2012 con relación a 1990.

El Protocolo de Kioto busca disminuir las emisiones de tres maneras:

- (1) Plantear metas conjuntas.
- (2) Realizar comercio de emisiones.
- (3) Mecanismos de Desarrollo Limpios (MDL).

Esta última opción es más flexible y con bajos costos tanto en el interior de los países como en el exterior ya que trata de lograr esa mitigación mediante proyectos que favorezcan el avance tecnológico en la producción y en el uso de la energía, así como la sustitución de algunos energéticos por otros más eficientes. Estas medidas depende principalmente de determinar cuáles son las líneas base de cada país a fin de que financiamiento de los proyectos sea el adecuado. La evolución histórica de las emisiones de GEI de 1850 a 1990 ha tenido las siguientes tasas de crecimiento (Cuadro 1.4).

Cuadro 1.4

Rangos de tasas de crecimiento de los principales gases invernadero

Período	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1850-1990	0.16-0.50 %	0.56-0.90 %	0.15-0.50 %

Fuente: Nordhaus (1993) y Solow (1993)

El cuadro señala que durante este período las concentraciones de gases invernadero han estado creciendo, en especial en el caso del bióxido de carbono y del metano que son los que contribuyen más al calentamiento global. La relación entre energía y emisiones de CO₂ durante los últimos diez años ha tenido la misma tendencia ascendente ya que para el año 2000 se generaron a nivel mundial cerca de 25,000 millones de toneladas y se pronostica que para el año 2030 las emisiones lleguen a 40,000 millones de toneladas (IEA, 2003).

En cuanto a la emisión de CO₂ para este mismo año los países en transición emiten más cantidades de emisiones generando cerca de 13,000 millones de toneladas en comparación con las 8,000 millones de toneladas de los países industrializados (IEA, 2003).

La diferencia de la cantidad de estas emisiones radica en que los países industrializados, a pesar de importar grandes cantidades de energéticos, tienen una mayor eficiencia en el uso de energía, su desarrollo tecnológico es mayor, además de que algunos países tratan de cumplir con las metas establecidas de emisiones, y un punto importante es que algunos países han logrado separar la trayectoria del consumo de energía con el producto lo cual no han sacrificado su crecimiento económico por disminuir su uso en energéticos. En el caso de las economías en transición su intensidad energética es bastante alta utilizando una gran cantidad de energía para aumentar una unidad de su producto, además de que su tecnología es ineficiente para reducir las emisiones.

Ante todo esto es importante analizar cuál ha sido el desempeño en la disminución de emisiones para algunas regiones y países en particular a las metas propuestas en el Protocolo de Kioto. Los resultados se presentan en el Cuadro 1.5.

Cuadro 1.5

Emissiones de CO₂ emitidas por la quema de combustibles fósiles y metas propuestas (millones de toneladas de CO₂)

	1990	1998	1998/1990	Meta
Norte América	5,265.2	5,887.0	11.8 %	X
Estados Unidos	4,843.8	5,409	11.7 %	-7.0 %
Canadá	421.3	477.3	13.3 %	-6.0 %
Europa	3,361.1	3,435.3	2.2 %	X
Bélgica	106.2	122.5	15.3 %	-7.5 %
Francia	368.6	375.5	1.9 %	0.0 %
Alemania	967.2	857.1	-11.4 %	-21.0 %
Italia	401.6	426.0	6.1 %	-6.5 %
Luxemburgo	10.5	7.2	-31.3 %	-28.0 %
Holanda	156.8	171.4	9.3 %	-6.0 %
España	211.6	254.0	20.1 %	15.0 %
Reino Unido	572.3	549.5	-4.0 %	-12.5 %
Economías en transición	3,868.4	2,591.5	-33.0 %	X
Asia (sin China)	1,631.3	2,446.5	50.0 %	X
Japón	1,048.5	1,128.3	7.6 %	-6.0 %
China	2,389.3	2,893.2	21.1 %	X
Oriente Medio	600.1	924.2	54.0 %	X
América Latina	922.0	1,222.7	32.6 %	X
África	598.9	728.7	21.7 %	X

Notas: (X) significa que no se establecieron metas para esos países o regiones. Los principales países en transición son: Croacia, Bulgaria, República Checa, Estonia, Hungría, Lituania, Polonia, Rumanía, Rusia, entre otros.

Fuente: IEA (2001), "Climate change, energy and sustainable development" in Toward a Sustainable Energy Future.

Los datos señalan que de 1990 a 1998 la mayoría de los países han aumentado sus emisiones de CO₂ como es el caso de Estados Unidos, Japón y China los cuales siguen siendo los mayores consumidores de energía y generadores de GEI en el mundo. Otros países como Alemania y el Reino Unido han sido los que han disminuido sus emisiones durante este período de análisis sin llegar a la meta, sólo en el caso de Luxemburgo su disminución fue de 31% superando la meta establecida de 28 por ciento.

En cuanto a la disminución de emisiones por regiones, todas presentan un aumento en las emisiones con excepción de los países en transición ya que los países que la conforman en su mayoría han rebasado las metas propuestas teniendo en general una disminución de las emisiones de 33 por ciento.

Algunas de las posibles causas para que no se cumplieran las metas en general se deben principalmente a la conformación de la producción y al uso de energéticos de cada país, destacando la falta de innovación tecnológica, la utilización de energéticos de mala calidad y altamente contaminantes, la posible trayectoria conjunta entre demanda de energía y producto, ubicación geográfica, la población y las políticas energéticas ineficientes.

1.7 Conclusiones

La energía se ha convertido en un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las economías industrializadas y en transición. Es así que se puede obtener de manera directa de la naturaleza o mediante la transformación de algunos energéticos en algunas plantas generadoras para que pueda ser utilizada en el consumo final como son el caso de los hidrocarburos y de la electricidad. En consecuencia el petróleo es el energético más importante que existe en la actualidad ya que su transformación puede dar origen a un sinnúmero de combustibles y bienes.

La compra-venta de petróleo crudo y su precio puede influir bastante en las principales variables macroeconómicas, es decir, ya que con el aumento del precio y una contracción en el abasto de petróleo por cuestiones políticas, como ocurrió en 1973 y 1979 que llevaron a la economía mundial a la crisis en dos ocasiones, se puede provocar aumento en los costos del producción, aumentar la tasa de inflación, disminuir la inversión, propiciando una caída en la demanda de energéticos, disminución de salarios reales y aumento del desempleo, haciendo las políticas monetarias y fiscales más restrictivas, así como provocando problemas en la balanza comercial, en los tipos de cambio y en las tasas de interés; teniendo como

resultado una disminución en el producto el cual puede llevar a una economía en recesión y en consecuencia a la crisis. Estos efectos sólo pueden ser disminuidos mediante políticas gubernamentales y de los bancos centrales, y hasta que se estabilicen los precios y el abastecimiento del petróleo.

Por otra parte el uso irracional en algunos casos, durante varios años de la energía ha provocado un incremento en las cantidades de gases y desechos contaminantes, lo cual ha afectado la composición de los gases que existen en la atmósfera provocando que en la superficie de la Tierra aumente cada vez más la temperatura que ha causado desordenes tanto en los diferentes climas, en el aire, en el agua y en los suelos principalmente, afectando en general la vegetación y la salud de los seres vivos.

Para poder resolver este problema se han hecho consensos entre varios países los cuales buscan mitigar la cantidad de GEI en la atmósfera mediante diversas acciones como los MDL que promueven que la producción y el uso de la energía sea cada vez más eficiente y limpia.

Los datos recientes presentados señalan que las emisiones de CO₂ son el principal contaminante de los GEI como resultado de la quema de combustibles fósiles, principalmente. Aún los países que más emiten este tipo de gas son: Estados Unidos, Japón y China. Los países en transición han sido los que presentan mejores resultados ya que han logrado emitir menor cantidad de bióxido de carbono en casi una década.

Es importante señalar que las metas buscan disminuir las emisiones en el largo plazo, lo cual para poderlas cumplir se necesitan cambios muy drásticos en la composición de las diferentes actividades económicas principalmente en la producción y la utilización de energéticos, a fin de poder determinar una línea base que servirá para poder aplicar políticas energéticas y ambientales que contribuyan al mejoramiento de las economías y de la atmósfera.

CAPÍTULO II

EL USO DE LA ENERGÍA EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

2.1 Introducción

El desempeño de la economía mundial ha tenido como sectores estratégicos a la industria petrolera y a la industria eléctrica¹¹ para su crecimiento y desarrollo. En México, estos sectores no han sido la excepción, debido a que desde inicios de siglo XX y hasta la actualidad han impulsado el desarrollo económico del país convirtiéndose, además, en empresas importantes a nivel internacional en la producción y la exportación de hidrocarburos.

Asimismo, el consumo de energía en México ha tenido importancia en el crecimiento de las actividades económicas y en el producto nacional; así mismo el uso de nuevas tecnologías haciendo más eficientes las actividades a realizar. El uso intermedio y constante de la energía también ha provocado que la cantidad de emisiones se incremente generando perspectivas nada alentadoras para los siguientes años, de mantenerse la tendencia actual. En consecuencia existe actualmente un debate acerca de cómo lograr disminuir el consumo de energía sin afectar el producto y contribuyendo a disminuir las emisiones de gases a la atmósfera. Estos y otros problemas, también importantes, se han convertido en los objetivos a resolver en los siguientes años por parte del gobierno mexicano, de las respectivas instituciones tanto nacionales como extranjeras y de la sociedad mexicana.

Por lo tanto, este capítulo analiza el origen tanto de la industria petrolera como de la industria eléctrica; el desempeño de estas industrias en la producción de hidrocarburos y electricidad a partir de los años setenta hasta la actualidad; sus contribuciones al exterior mediante las exportaciones de petróleo crudo y la

¹¹ Actualmente uno de los energéticos que las actividades económicas han estado incrementado su uso es el gas natural, el cual está siendo utilizado tanto para la generación de otros energéticos como la electricidad y como combustible final para otros sectores, convirtiéndose en un elemento importante para el desarrollo económico mundial en los siguientes años.

electricidad; el uso del gas natural y su importancia en la actualidad; el comportamiento del consumo nacional de energía, además de las emisiones de GEI en el país; las políticas que se han estado sugiriendo para que el sector energético y el medio ambiente tengan un adecuado funcionamiento en los próximos años y finalmente los retos que hay que enfrentar en cuanto al desempeño energético y ambiental para llegar al desarrollo sustentable en el largo plazo.

2.2 La industria petrolera y la industria eléctrica en México

2.2.1 La Industria petrolera

La industria petrolera en México tiene sus inicios a principios del siglo XX cuando la compañía norteamericana Mexican Petroleum of California empezó a perforar un campo llamado "El Ebano" en 1901. En ese mismo año con la Ley del Petróleo se otorgaron grandes facilidades a los inversionistas extranjeros para la explotación petrolera (Suárez y Palacios, 2001).

Con la explotación de hidrocarburos el país se convirtió en el centro de lucha de las grandes compañías petroleras extranjeras monopólicas las cuales estaban llevando a cabo un expansionismo mundial con su dominio tecnológico y tratando de adueñarse de todos los recursos petroleros y poder llevar a cabo la explotación directa sin ningún problema. Para 1910 la producción se incrementó hasta aproximadamente 3.6 millones de barriles y en 1911 llegó hasta 8.1 millones de barriles (Suárez y Palacios, 2001).

En 1918 se establece un impuesto sobre los terrenos petroleros y los contratos para ejercer control de la industria y poder recuperar alguna parte de lo transferido a empresas extranjeras durante el gobierno de Porfirio Díaz. En 1921, México se convierte en el segundo productor mundial de petróleo generando cerca de 193 millones de barriles, esto debido al descubrimiento de nuevos yacimientos en Veracruz y Tamaulipas los cuales se conocieron como la "Faja de Oro". Tres años más tarde, se levantó una huelga en Tampico contra "El Águila", compañía

subsidiaria de la Royal Dutch Sell, en donde los trabajadores lograron que la empresa reconociera al sindicato, acordándose, además de la firma de un contrato colectivo de trabajo.

En 1934 se crea la empresa Petróleos de México (PETRO-MEX) que tenía la facultad de regular el mercado petrolero y sus derivados, satisfacer el consumo interno y crear aspectos técnicos petroleros mexicanos. Esta compañía años más tarde se convertiría en Petróleos Mexicanos (PEMEX).

En mayo de 1937 comenzó una huelga por el rechazo por parte de las empresas petroleras al Contrato Colectivo de Aplicación General ocasionando que el crecimiento y desarrollo de la economía mexicana comenzara a detenerse. En junio de ese mismo año, con la intervención del Gobierno Federal la huelga terminó pero la Junta de Conciliación ordenó la realización de una investigación en cuestiones financieras y operativas de las empresas a fin de conocer si podían dar cumplimiento a las exigencias del sindicato. Los resultados indicaron que dichas empresas cumplían con lo requerido decretándose la expropiación de la industria petrolera en marzo de 1938.

Con la expropiación, la industria petrolera comenzó a tener severos problemas tanto tecnológicos como económicos. En Junio de ese mismo año se crea Petróleos Mexicanos (PEMEX) tomando el mando de la nueva industria petrolera nacionalizada, además se adicionó un artículo en la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos el cual establecía que PEMEX no podía ser adquirida y/o explotada por empresas extranjeras. Los principales objetivos de PEMEX fueron aumentar las reservas y la producción de petróleo y sus derivados; diversificar la obtención de petrolíferos; llevar a cabo una extensa red de ductos que conectara gran parte de las ciudades más importantes del país y modernizar sus instalaciones. Por lo tanto comenzaron a repararse las plantas refinadoras, así como las tuberías,

se compraron nuevas unidades de transporte para llevar a cabo la distribución de hidrocarburos y se disminuyeron los precios de los productos en el mercado interno.

A partir de los años cincuenta PEMEX se convierte en un claro impulsor del crecimiento económico del país debido a que su producción registraba más de 86 millones de barriles junto con más de 12 millones de barriles para la exportación (Suárez y Palacios, 2001). La década de los sesenta se vio favorecida por la creación de Instituto Mexicano del Petróleo y la realización de actividades de explotación y perforación descubriendo importantes yacimientos de petróleo en Chiapas, Tabasco y en el Golfo de México.

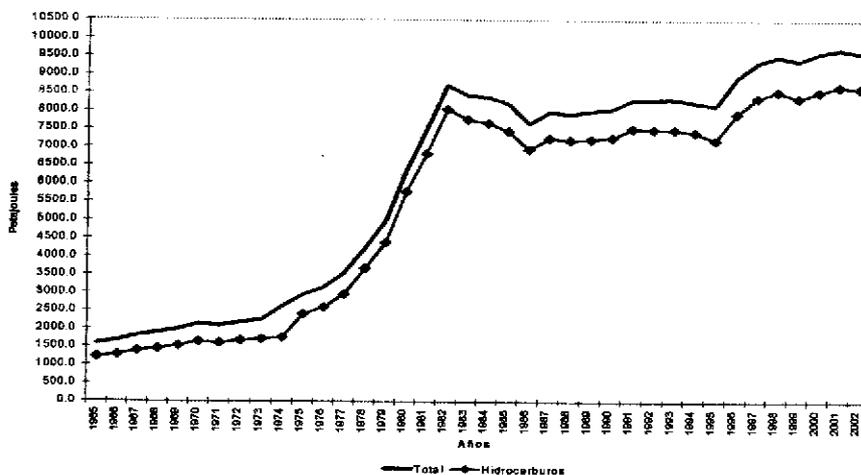
En los años setenta, se presenta un importante ascenso en la tendencia de la producción de la energía primaria total y de los hidrocarburos. Es importante mencionar que la crisis petrolera mundial de 1973 a 1975 no tuvo efectos drásticos sobre la economía mexicana a pesar de que se comenzaba a abandonar el modelo de desarrollo económico "hacia adentro" (Lustig, 2002). En 1976 la economía mexicana entró en crisis ocasionando problemas macroeconómicos para los siguientes años. En 1978 se presenta un acontecimiento importante en el desempeño económico del país debido al descubrimiento de grandes yacimientos de petróleo aumentando las reservas de dicho energético y de la producción total de energía (Gráfica 2.1). Es relevante señalar que de acuerdo a la gráfica la producción de hidrocarburos representa un alto porcentaje en la producción total de energía. El país comenzó a tener altas tasas de crecimiento del producto interno bruto en los siguientes cuatro años registrando un crecimiento de 8.4% (Cárdenas, 2000)¹².

Esto fue consecuencia de las políticas económicas aplicadas por el gobierno federal como fue el caso del aumento exagerado en el gasto público el cual impulsó la inversión en diferentes actividades económicas por parte de empresas públicas y privadas, las exportaciones tanto petroleras como no petroleras, y principalmente las importaciones, ocasionaron que se presentara un déficit en la balanza comercial y en consecuencia en la balanza de pagos.

¹² En 1978 se registró una tasa de crecimiento de 8.2%; para 1979 fue de 9.2%; en 1980 fue de 8.3%; y para 1981 se registró un crecimiento de 7.9% en términos reales (Lustig, 2002).

En 1981 los déficit fiscales y externos se volvían cada vez más insostenibles y los precios internacionales del petróleo continuaban con su tendencia a incrementarse; esto también impulso los precios de la mezcla mexicana hasta registrar en ese año un precio por arriba de los 33 dólares por barril¹³. Inesperadamente el precio internacional del petróleo descendió, generando que los ingresos recibidos por la venta de petróleo disminuyeran. En consecuencia, el gobierno mexicano tomó "decisiones equivocadas" principalmente como la de no ajustar el precio del petróleo que se vendía al exterior, lo que ocasionó la disminución de las inversiones y el producto interno bruto, se incrementara nuevamente la inflación, el déficit interno y el externo se tomaron impagables, se registraron una gran cantidad de salidas de capital, las reservas internacionales fueron disminuyendo cada vez más, cayendo nuevamente la economía en crisis.

Gráfica 2.1
Producción de energía total e hidrocarburos 1965 – 2002



Fuente: Anuario Estadístico SENER 2004.

¹³ Fuente: Secretaría de Energía.

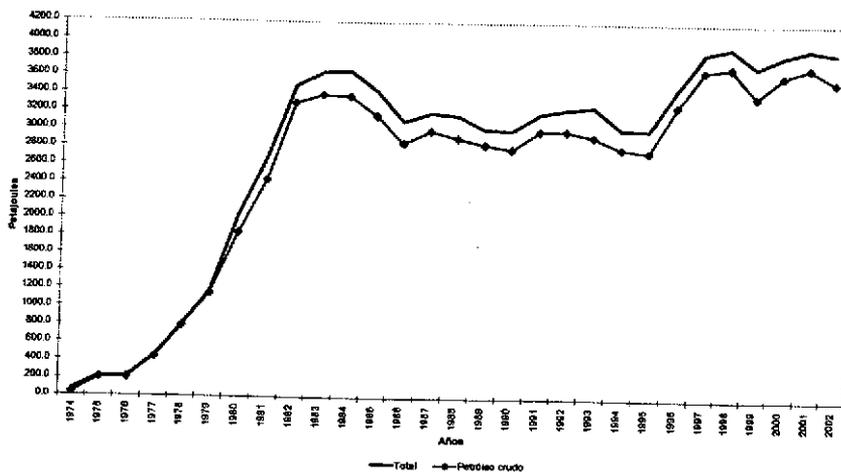
La economía mexicana en los siguientes años trató de llevar a cabo mecanismos de ajuste y estuvo caracterizada por tasas de crecimiento muy bajas e incluso negativas como fue en el caso de los años 1983 y 1986. En 1985, el mercado mundial del petróleo sufría de una sobreproducción del crudo por parte de los países de la OPEP y de algunos países altamente exportadores del energético como fue el caso de Gran Bretaña, se tomaron medidas internacionales para controlar el precio mundial del petróleo lo que ocasionó que las exportaciones mexicanas del energético disminuyeran considerablemente (Gráfica 2.2) dificultando a la economía para obtener divisas del exterior y salir nuevamente de la crisis.

Es importante mencionar que a pesar de que en los años ochenta el país estaba pasando por momentos difíciles, la industria petrolera trató de fortalecer la planta productiva a través de incrementar la capacidad en la refinación¹⁴ y en la petroquímica¹⁵. Con lo anterior PEMEX se convirtió en una empresa dedicada a la exportación de petróleo hacia otros países tratando de venderlo a precios un poco más bajos que el que ofrecían sus competidores. Actualmente las exportaciones de hidrocarburos representan el 8.4% del total de las exportaciones nacionales además de que representan el 37% de los ingresos fiscales y el 40% de las inversiones públicas dedicadas al sector energético (SENER-SEMARNAT, 2002).

¹⁴ La refinación de petróleo se compone de varios procesos químicos y físicos, en donde se busca mediante la destilación obtener hidrocarburos como el gas LP, la gasolina, el combustóleo, el diesel, la turbosina, y el nafta especial para la producción de petroquímicos. Estos hidrocarburos se utilizan principalmente como combustibles, para la generación de energía eléctrica, como asfaltos, lubricantes parafínicos, productos de uso industrial y en la industria petroquímica básica.

¹⁵ La industria petroquímica convierte los hidrocarburos en materias primas útiles para diversas industrias de alimentos, farmacéuticos, fertilizantes, plásticos, textil, química, etc.

Gráfica 2.2
Exportaciones de energía total y petróleo crudo 1974 - 2002



Fuente: Anuario Estadístico SENER 2004.

En la década de los noventa, a pesar de la crisis que se registró en 1995, la industria petrolera tuvo un importante cambio no sólo en su infraestructura sino también en su actividad productiva y económica, como ejemplo tenemos que en 1992 las ventas internas fueron cerca de 39,367 millones de pesos mientras que las exportaciones se obtuvieron 25,935 millones de pesos (Suárez y Palacios, 2001). En ese mismo año, se aprueba la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios logrando que PEMEX tenga una nueva estructuración administrativa y organizativa. En consecuencia PEMEX diversificó funciones y recursos a otros organismos descentralizados y subsidiarios como Exploración y Producción, Refinación, Gas y Petroquímica Básica y Petroquímica los cuales tienen como objetivos fortalecer los programas operativos mediante el aumento, distribución y mejoramiento de la producción del petróleo crudo, gas y sus derivados como los combustibles (especialmente las gasolinas). Como ejemplo de las inversiones

realizadas, en 1997, se crea un "Parque Ecológico" conformado por 28 plantas de proceso en el sistema nacional de refinación¹⁶.

En el año 2000, se diseñó el Plan Estratégico 2001 - 2010, buscando un nuevo tratamiento fiscal, entre otras actividades administrativas. Además busca implantar estrategias para el crecimiento de la producción a través de la realización de nuevos e importantes proyectos para la extracción de petróleo crudo; la modernización de refinerías; el mejoramiento de la calidad de los productos; la explotación más eficiente de gas no asociado y buscar un acercamiento con el sector privado para mejorar la industria petroquímica del país¹⁷.

Las cifras de 2004 señalan que las reservas totales de petróleo en México fueron poco más de 34,000 millones de barriles. Estas reservas están distribuidas en cuatro regiones que constituyen a PEMEX Exploración y Producción (PEP). De estas reservas totales de petróleo el 52.4% es petróleo pesado; el 37.6% es petróleo ligero y el 10.0% corresponde a reservas de petróleo superligero. Por lo tanto, de la producción total de petróleo el 72% corresponden al petróleo tipo Maya, el 15% al tipo Istmo y el 13% al tipo Olmeca (PEMEX, 2004).

2.2.2 La industria eléctrica

El sector eléctrico se ha convertido también en un sector importante de la generación de energía desde finales del siglo XIX. La capacidad eléctrica en los primeros años del siglo XX era aproximadamente de 31.0 MW, propiedad de empresas privadas, para 1910, aumentó a 50.0 MW de los cuales el 80% lo generaba la empresa canadiense The Mexican Light and Power Company debido a que la planta hidroeléctrica Necaxa, en Puebla, estaba funcionando de acuerdo a las expectativas cumpliendo con los requerimientos necesarios para generar energía eléctrica.

¹⁶ Fuente: Secretaría de Energía y Petróleos Mexicanos.

¹⁷ Fuente: Secretaría de Energía.

Por lo tanto, la industrial textil y la minería fueron los primeros en emplear plantas generadoras de electricidad como las termoeléctricas y las hidroeléctricas para satisfacer sus necesidades de producción, poco tiempo después diversas industrias fueron adoptando dichas tecnologías vendiendo los excedentes de electricidad que generaban a consumidores particulares y comerciales. Después la capacidad de dichas plantas fue insuficiente para cumplir con sus actividades ocasionando la creación de empresas que se dedicarían exclusivamente a generar energía empleando diferentes fuentes de energía creando de 1887 a 1911 más de 100 empresas de luz y fuerza motriz. Al principio las empresas mexicanas tuvieron mucho éxito pero comenzaron a surgir diferentes problemas que ocasionaron la quiebra de muchas de ellas y entrando en el mercado muchas empresas con capital extranjero.

Como consecuencia de esto, en los años veinte las empresas generadoras de electricidad The American and Foreign Power Company, la Compañía Eléctrica de Chapala y la The Mexican Light and Power Company, adquirieron las concesiones e instalaciones de una gran parte de las pequeñas empresas y ampliaron sus redes de distribución a los mercados económicos más atractivos de las ciudades en que operaban. Además, el gobierno comenzó a ceder concesiones del aprovechamiento del agua para el uso en plantas hidroeléctricas, las cuales repercutieron en los siguientes años debido a que los plazos que manejaban afectaban principalmente a empresas mexicanas que fueron compradas por extranjeros, resultando en términos generales un fracaso para el gobierno.

Debido al poder monopólico de las tres empresas el 14 de agosto de 1937 se pone en marcha la Comisión Federal de Electricidad (CFE), teniendo una capacidad instalada en el país de 629.0 MW, la cual aumentó a 681.0 MW en los siguientes años como resultado de la suspensión de los planes de expansión de las empresas extranjeras.¹⁸ Con la creación de la CFE y el crecimiento económico presentado en esos años disminuyeron las inversiones privadas en el sector hasta 1943, así como

¹⁸ Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

las regulaciones de las tarifas del estado y los intentos jurídicos para tratar que el sector fuera un servicio público. Teniendo como único fin el modernizar social e industrialmente al país buscando como resultado el crecimiento económico.

En 1960, la capacidad instalada en el país era de 2,308 MW en donde la CFE participaba con el 54%, la Mexican Light con el 25%, la American and Foreign con el 12% y el resto de las compañías con el 9 por ciento. El suministro de electricidad cubría cerca del 44% de la población la cual desde la creación de la CFE, había crecido cerca de un 91 por ciento dando un total de 34.9 millones de habitantes¹⁹, que había sido acompañada de un acelerado desarrollo de la agricultura, de la industria y de otro tipos de actividades. En ese mismo año finalmente se nacionaliza la industria eléctrica buscando que todos los mexicanos pudieran contar con este energético, de satisfacer las demandas de electricidad en la agricultura, la industria, el transporte y las comunicaciones en las zonas urbanas y rurales. La prestación de este servicio queda a cargo del gobierno mexicano buscando el beneficio social, sin dar concesiones al sector privado y aprovechando todos los recursos naturales para la generación de electricidad. Con esto, la industria eléctrica trató de integrarse al Sistema Eléctrico Nacional, ampliando el suministro y acelerando la industrialización del país.

Las empresas privadas que existían comenzaron a ser compradas por el Estado, con ayuda de la Secretaría de Hacienda. Finalmente con la compra de la mayor parte de las empresas generadoras de electricidad el control final del servicio público lo asumió el gobierno a través de la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz S.A. y de la Comisión Federal de Electricidad con 19 afiliadas. Esto junto con el desarrollo tecnológico, se llevaron a cabo la realización de proyectos y de la ejecución de las obras públicas necesarias, así como la construcción de un sistema interconectado nacional que ha logrado un mejor aprovechamiento de las instalaciones y recursos para la generación de energía eléctrica (Reséndiz-Nuñez, 1994).

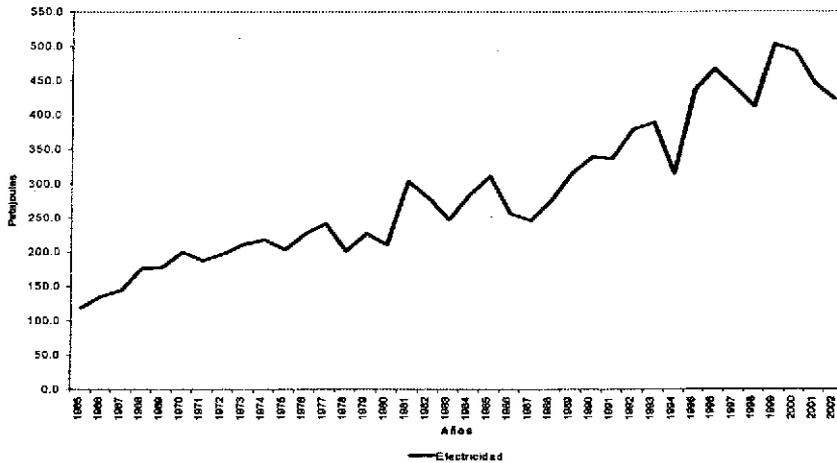
¹⁹ Fuente: Secretaría de Energía.

La capacidad total instalada mexicana, en 1961, era de 3,250 MW; la Comisión Federal de Electricidad vendía el 25% de la energía que generaba teniendo una participación en la propiedad de centrales generadoras de energía eléctrica del 54% (Reséndiz-Nuñez, 1994) convirtiéndose en el organismo más importante para la administración y generación de electricidad. De 1970 a 1980, la capacidad instalada aumentó a 17,360 MW²⁰.

En la Gráfica 2.3, la generación de energía eléctrica muestra una tendencia ascendente de 1965 a 1981, pero en el año siguiente la producción de electricidad disminuyó sensiblemente por la desaceleración y el incremento de los precios de algunos energéticos mexicanos en el mercado interno para poder compensar los bajos precios que existían en el mercado internacional del petróleo, así como para poder obtener algunos recursos para hacer frente a los déficit fiscales y compromisos contraídos con el exterior. En los siguientes años, es decir de 1983 hasta 2002 la electricidad presenta varias oscilaciones las cuales señalan los años en que el país sufrió conflictos económicos como es el caso de 1986 y 1995 en donde se registraron crisis económicas y en el año 2000 caracterizado por el bajo crecimiento en la economía. Este punto es importante ya que con la baja actividad productiva en el país, los sectores económicos como es el caso de la industria y el transporte disminuyen sus demandas de energía eléctrica, recayendo el mayor consumo de electricidad en el sector residencial.

²⁰ Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Gráfica 2.3
Generación de electricidad 1965 – 2002



Fuente: Anuario Estadístico SENER 2004.

Recientemente en la industria eléctrica las innovaciones tecnológicas han tenido gran importancia ya que cada vez se busca más la manera de consumir la menor cantidad de electricidad tanto en la producción como en el uso final principalmente en los sectores residencial y servicios; como ejemplos están las nuevas plantas de ciclo combinado, las plantas que utilizan desechos orgánicos, las que mejoran y/o sustituyen algunos combustibles alternos para la producción de energía eléctrica, entre otras.

También el gobierno de manera conjunta con otros organismos, han aplicado políticas para ahorrar energía eléctrica y aprovechar otro tipo de energía como la solar como es el caso del "Horario de Verano"²¹ que fue aplicado desde 1996 y decretado oficialmente el 1 de marzo de 2002. Este horario ha tenido un importante impacto en el medio ambiente ya que se puede aprovechar la luz solar

²¹ Este horario se aplica anualmente a nivel nacional desde el 7 de abril de 1996 y en Baja California desde 1942, por lo que el horario comienza del primer domingo de abril hasta el último domingo de octubre (Fideicomiso para el ahorro de energía).

disminuyendo el uso de la energía eléctrica lo cual hace que se utilicen menos combustibles fósiles en algunas centrales generadoras de este tipo de energía, es decir, se han dejado de utilizar 3.15 millones de barriles de petróleo anuales dejando de arrojar a la atmósfera 1,477 millones de toneladas de CO₂ y otros contaminantes como se muestra en el Cuadro 2.1:

Cuadro 2.1
Disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera debido al "Horario de Verano" en México

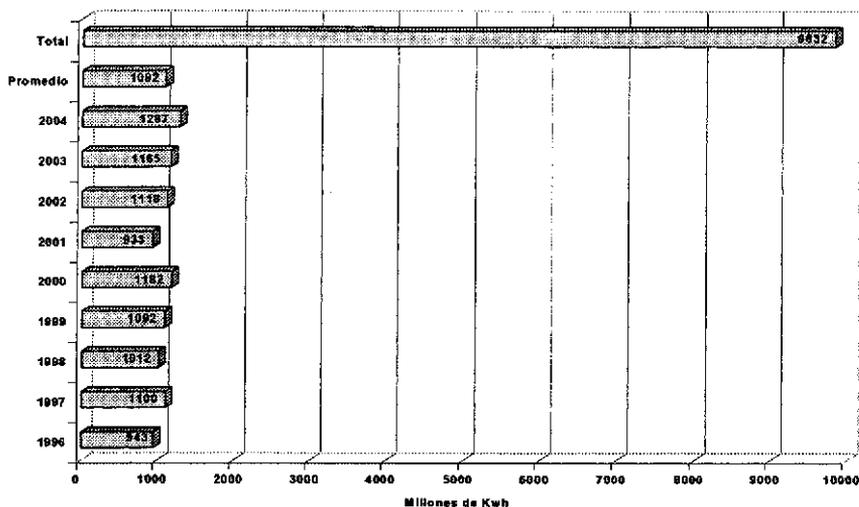
Contaminantes	Miles de toneladas menos 2004	Miles de toneladas menos acumuladas desde 1996
Óxidos de nitrógeno	4.48	45.78
Óxidos de azufre	22.20	238.52
Monóxido de carbono	0.54	4.09
Bióxido de carbono	1,625.60	14,414.18
Partículas	1.36	62.79
Hidrocarburos	0.02	0.41

Fuente: Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. www.fide.org.mx

En consecuencia desde 1996 hasta 2004 el ahorro de energía eléctrica ha tenido significativos resultados tanto en los diversos sectores económicos como en el medio ambiente como se puede ver en la Gráfica 2.4 ya que se ha estado ahorrando en promedio durante todos estos años de 1,092 Kwh y un total de 9,832 Kwh durante estos nueve años.

Gráfica 2.4

Ahorro de electricidad debido al "Horario de Verano" en México 1996 – 2004



Fuente: Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. www.fide.org.mx

Actualmente, la capacidad instalada de la CFE es aproximadamente de 44,787.71 MW, en donde las plantas termoeléctricas de la misma compañía participan con 52%, los productores independientes de energía generan 16%, las plantas hidroeléctricas 21%, las centrales carboeléctricas generan 6%, las geotérmicas 2%, las centrales nucleoeeléctricas 3% y finalmente 0.005% pertenecen a las centrales eoloeeléctricas. En el caso de la generación eléctrica en el año 2004, las plantas termoeléctricas generaron 49.62%, 22.49% por productores independientes, las plantas hidroeléctricas generaron 10.70%, las plantas carboeléctricas generaron 9.38% y 4.46 y 0.003% de las nucleoeeléctricas y las eoloeeléctricas, respectivamente²².

²² Fuente: Secretaría de Energía.

2.3 El caso del gas natural en México

El gas natural, proveniente del petróleo crudo (gas asociado o no asociado), en los últimos años ha tenido un incremento significativo en su uso debido a la necesidad de tener mejores tecnologías, aumentar el ahorro energético y disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Esto ha ocasionado que su incremento en los últimos años haya sido mayor que el de los hidrocarburos representando actualmente el 25% aproximadamente del consumo de energía primaria mundial, así como de sus reservas ya que registran un crecimiento de 2.3% de promedio anual en los últimos diez años en comparación con las reservas de petróleo que aumentaron sólo 0.4 por ciento.

Entre los principales poseedores de reservas de gas natural están la C. E. I., Irán y Qatar con más de 3,000 reservas probadas. México ocupa el lugar 21 con treinta reservas comprobadas de gas natural en 2001 (Cuadro 2.2). En cuanto a las exportaciones en el 2002 el país que más aportó al mercado internacional de este gas fue Indonesia (23% de las exportaciones totales de gas natural) seguido de Argelia y Malasia (18 y 14% respectivamente) (Cabral, 2003).

Cuadro 2.2

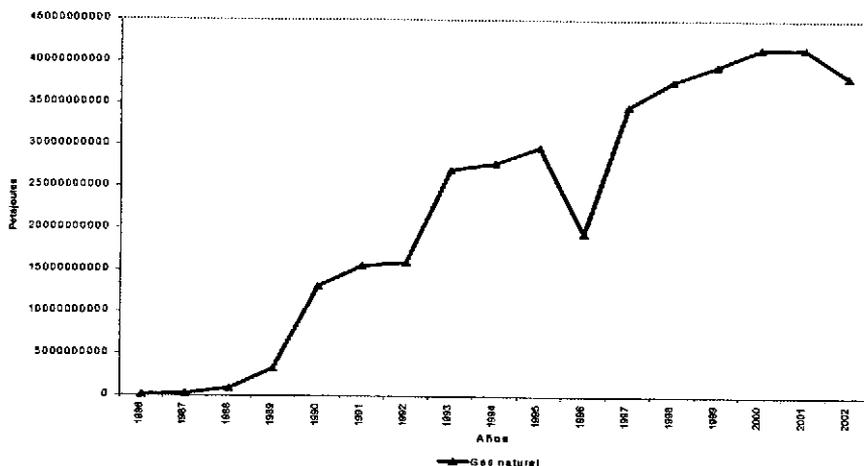
Reservas probadas de gas natural por países (billones de pies cúbicos)

Lugar Mundial	País	2001
1	C. E. I.	1977
2	Irán	812
3	Qatar	349
4	Arabia Saudí	213
5	Estados Árabes Unidos	212
6	Estados Unidos	167
7	Argelia	160
8	Venezuela	147
9	Nigeria	124
10	Irak	110
11	Malasia	82
12	Indonesia	72
13	Holanda	63
14	Canadá	61
15	Kuwait	52
16	China	48
17	Libia	46
18	Australia	45
19	Noruega	44
20	Egipto	35
21	México	30
22	Omán	29

Fuente: Oil and Gas Journal, varios números.

El comportamiento del gas natural en México ha tenido una tendencia en general creciente registrando en la última década una tasa de crecimiento promedio anual 2.5% (Giugale, Lafourcade y Nguyen, 2001). Pero a pesar de la gran demanda, México no cuenta con importantes inversiones para poder extraer este tipo de gas ocasionado que una gran parte de éste se importe de Estados Unidos y Canadá. La demanda de gas natural se puede observar en la Gráfica 2.5.

Gráfica 2.5
Demanda de gas natural 1986 – 2002



Fuente: Anuario Estadístico SENER 2004.

La demanda de gas natural mantuvo una tendencia ascendente de 1986 a 1995²³ debido al modesto crecimiento económico que se presentaba en el país. Este crecimiento fue impulsado por su uso en la petroquímica y como combustible en diferentes actividades económicas.

En 1996 se registró una caída en su demanda debido a la disminución de la actividad económica a consecuencia de la crisis iniciada en 1995. A partir de ese año el uso del gas natural nuevamente aumenta de forma importante debido al uso en los transportes debido a que la combustión de este tipo de gas es limpia generando cantidades muy bajas de GEI como son el SO₂ (bióxido de azufre) el cual es eliminado en un 100%, el NO₂ (bióxido de nitrógeno) que se reduce en 80% y el CO₂ (bióxido de carbono) que tiene una disminución del 50% en comparación con otros energéticos como el combustóleo o el carbón, además de que comenzó a

²³ Los datos anteriores a 1986 no están disponibles.

utilizarse más en la generación de electricidad sustituyendo al combustóleo en muchas plantas generadoras con la creación de plantas de ciclo combinado²⁴.

En los próximos años, el uso de este tipo de gas en la actividad económica se incrementará constantemente, debido a la expansión para la generación de electricidad, principalmente, y por su uso en el sector residencial y en los transportes llegando en al año 2007 a una tasa anual de por arriba del 7% y para el 2010 se pronostica que llegará al 11% anual, (Giugale, Lafourcade y Nguyen, 2001). Esto debido a sus propiedades como combustible y a su utilización casi limpia que afecta al medio ambiente en menor grado en comparación con otros energéticos, además de obligar a mejorar las tecnologías que actualmente lo usan para hacerlo aún más eficiente.

2.4 Análisis del comportamiento del consumo de la energía nacional y por sectores y las emisiones de GEI en México

La energía se ha convertido en una materia prima hegemónica y fundamental para el funcionamiento de las tecnologías desarrolladas por los países industrializados y las economías lo cual ha ocasionado muchos conflictos internacionales. Nuestro país no ha estado exento de los problemas internacionales debido a que es un importante productor mundial de petróleo y ha sido afectado por muchas políticas energéticas mundiales, principalmente por los aumentos de los precios del petróleo así como por malas decisiones de política económica en el país.

México es una fuente importante de energéticos a nivel mundial, ocupa el sexto lugar en producción y el décimo tercer lugar en reservas probadas de petróleo crudo²⁵, el lugar veintiuno²⁶ en la producción de gas natural y un importante país generador de electricidad en Latinoamérica.

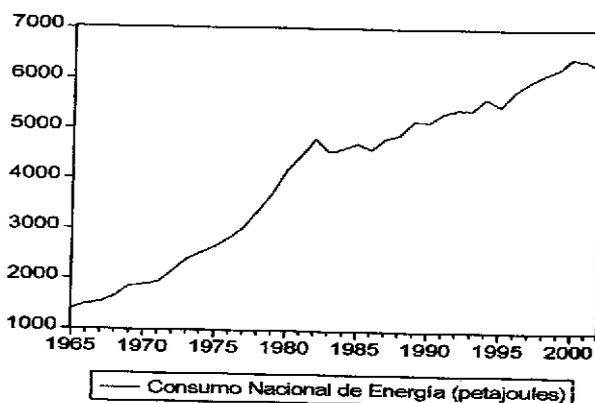
²⁴ Las plantas de ciclo combinado funcionan mediante turbinas de gas, el calentamiento de aire comprimido y los gases de combustión generando vapor que se utiliza nuevamente para la generación de electricidad. Con este proceso se utiliza al máximo el poder calorífico del gas natural.

²⁵ Fuente: Petróleos Mexicanos en www.pemex.gob.mx

²⁶ Fuente: Oil and Gas Journal, varios números.

Es importante señalar que las trayectorias de consumo de energía nacional toman en cuenta los diferentes sectores económicos y los tipos de energéticos utilizados en el Balance Nacional de Energía los cuales están medidos en petajoules para fines comparativos. Por lo tanto para llevar a cabo el análisis de esta sección se presenta la trayectoria del consumo nacional de energía en la Gráfica 2.6.

Gráfica 2.6
Consumo nacional de energía en México 1965 – 2002



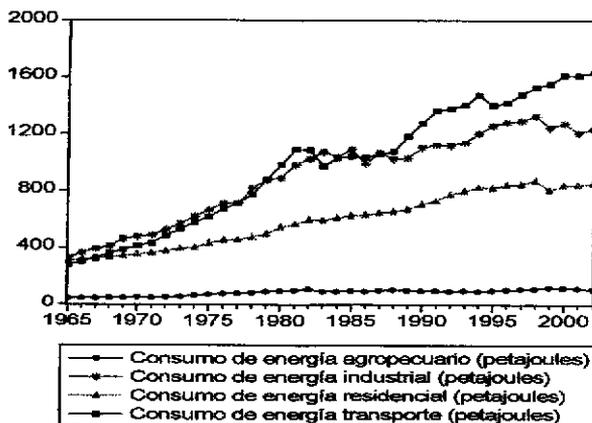
Fuente: Anuario estadístico SENER 2004.

En esta gráfica se observa que el consumo nacional de energía presenta una tendencia creciente lo cual señala que el país es un gran productor, consumidor y exportador de energéticos principalmente en lo referente a los hidrocarburos, a la energía eléctrica y al gas natural como se ha mencionado anteriormente.

Asimismo en la Gráfica 2.7 se observa el consumo de energía de los principales sectores como el agropecuario, el industrial, el residencial y el de transporte tienen también una tendencia creciente confirmando la constante demanda de los energéticos en la actividad productiva y para uso final. Es importante señalar que el país es un gran consumidor interno de energía a través de estos sectores destacando el sector transporte e industrial como principales demandantes de

energéticos consumiendo grandes cantidades de combustibles como gasolinas, diesel, gas natural, turbocina, entre otros, para el caso del transporte. En cambio en el sector industrial generalmente se usan diversos productos derivados de los hidrocarburos obtenidos a través de la petroquímica principalmente.

Gráfica 2.7
Consumo de energía por sectores en México 1965 – 2002



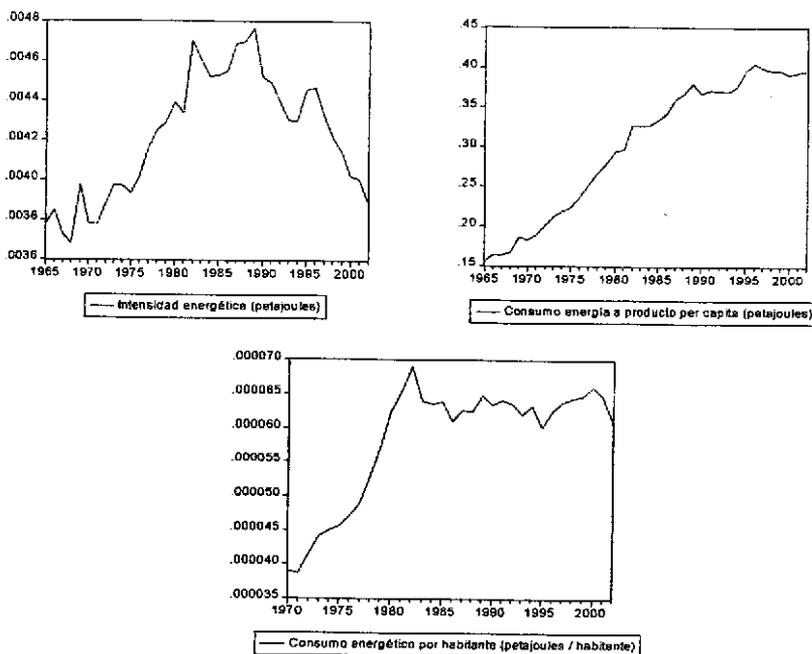
Fuente: Anuario estadístico SENER 2004.

En la Gráfica 2.8 la intensidad energética (gráfica superior izquierda), la cual se define como el consumo nacional de energía entre el producto interno bruto, se ha estado comportando de manera creciente durante los primeros 25 años principalmente en los años ochenta. Sin embargo a partir de los años noventa comienza a disminuir considerablemente lo que señala que no existe una tendencia bien definida durante este periodo.

En cambio el consumo de energía a producto per cápita y en el consumo energético por habitante (gráfica superior derecha y gráfica inferior respectivamente) muestran trayectorias crecientes hasta 1983, a partir de mediados de la década de los ochenta el consumo se empieza a estabilizar debido en parte al desarrollo tecnológico que se

ha presentado en los últimos 20 años tanto en el uso de la energía en las actividades productivas como en el uso en el sector residencial. En consecuencia ello sugiere que la economía mexicana se ha hecho más intensiva desde el punto de vista energético lo que se confirma con la presencia de una correlación positiva importante entre la energía y el ingreso y/o ingreso per cápita.

Gráfica 2.8
Intensidad energética y consumo de energía per cápita y consumo energético por habitante en México 1965 – 2002



Fuente: Anuario estadístico SENER 2004, Banco de México e INEGI.

Al analizar estas trayectorias se puede suponer que para los siguientes años, el comportamiento del consumo de energía en México y en consecuencia las razones de consumo de energía a producto, producto per cápita y por habitante se

mantendrán relativamente estables quizá con algunas reducciones de aplicarse políticas activas de control energético.

Las emisiones de gases que son arrojadas a la atmósfera por los diversos energéticos se han convertido en un problema a nivel internacional debido a su uso exagerado y la falta de nuevas tecnologías en su producción y utilización; provocando un desajuste en el cambio climático que afecta principalmente el agua, el aire, la salud pública, los animales y la vegetación. Así también destruye ecosistemas generando malas expectativas de vida y de recursos naturales para los próximos años modificando el desempeño de las economías, las sociedades y del medio ambiente.

En México, el incremento, por muchos años, de las emisiones de gases se han debido principalmente al uso de petrolíferos y la generación de electricidad, así como la falta de tecnología tanto en la producción, la transformación y el uso final de los diversos tipos de energéticos. Es importante señalar que México genera el 2% de las emisiones de GEI totales que son arrojadas a la atmósfera. Por lo tanto, existen dos fuentes fundamentales de generación de gases de efecto invernadero, la primera es Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la segunda es la Comisión Federal de Electricidad (CFE), las cuales se analizarán a continuación apoyados en los siguientes cuadros (Cuadros 2.3 y 2.4).

Cuadro 2.3
Emisiones a la atmósfera de PEMEX

Año (ton)	SO _x (ton)	NO _x (ton)	PST (ton)	COT (ton)	COVT (ton)	Emisiones totales a la atmósfera (ton)	CO ₂ (ton)	Producción (ton)
1999	688,874	131,722	18,045	-	180,420	1,019,060	41,555,675	310,231,408.4
2000	641,535	126,840	16,818	-	193,320	978,512	41,420,000	311,629,744.0
2001	687,690	86,823	82,832	102,381	83,086	959,726	40,050,000	320,399,018.3

Fuente: SENER-SEMARNAT Programa Energía y Medio Ambiente Hacia el Desarrollo Sustentable 2002

En el caso de PEMEX (Cuadro 2.3) los datos reportados son a partir de 1999 debido a la complejidad para calcular dichos tipos de gases y en consecuencia se puede observar que algunas de las emisiones han estado disminuyendo muy erráticamente. Esto quiere decir que las normas que se están estableciendo para la utilización de combustibles no han sido suficientes, como es el caso del bióxido de carbono que a partir de 1999 ha estado disminuyendo sus cantidades de toneladas las cuales siguen siendo insuficientes debido a que es el principal componente de los GEI que ha generado problemas climáticos en el planeta.

En consecuencia de mantenerse el comportamiento actual del uso de energéticos, esto se traducirá en un incremento substancial de la producción debido a la correlación que existe entre estas variables, pero esto también representará efectos importantes en las emisiones a la atmósfera.

Por otro lado, en el caso de la CFE (Cuadro 2.4) los datos reportados de 1995 a 2001 presentan que, en general, el uso de combustibles en el sector eléctrico ha estado aumentando considerablemente en los últimos años, lo cual se refleja en la generación de electricidad y en el aumento de las emisiones asociadas como es el caso del bióxido de carbono, el metano y el bióxido de nitrógeno. Pero en el caso del bióxido de azufre la cantidad de toneladas emitidas se han mantenido y en algunos años han disminuido debido al uso del gas natural en algunas plantas generadoras. Por lo tanto, se esperaría que disminuyera esta tendencia en el largo plazo como consecuencia tanto de un mayor uso de tecnologías asociadas a la energía renovable (geotérmica e hidráulica principalmente), así como por el uso de combustibles más limpios y de tecnologías menos contaminantes como sería el caso del gas natural el cual buscará la disminución en las emisiones de bióxido de azufre.

Cuadro 2.4

Emissiones a la atmósfera de CFE (1995 – 2001) y expectativas (2002 - 2006)

Año	Generación (GW-h)	CO ₂ (t/año)	CH ₄ (t/año)	N ₂ O (t/año)	NOx (t/año)	SO ₂ (t/año)	Partículas (t/año)
1995	100686	72175029	1352	736	194990	1246175	78782
1996	106833	75642535	1426	800	214291	1295413	81516
1997	119017	84783563	1569	853	229393	1485541	93902
1998	131376	93596258	1701	946	250042	1623374	102800
1999	132517	93851596	1847	991	253806	1592876	100937
2000	143865	102626660	2162	1111	275873	1709404	108701
2001	152818	105197280	2485	1259	297309	1666711	106625
2002	-	95120517	2443	1440	336300	1248848	79344
2003	-	90466227	2411	1435	339011	1120213	71038
2004	-	84743993	2501	1383	322259	913592	58466
2005	-	84929697	2507	1409	334197	926852	58971
2006	-	85670578	2558	1375	331834	893335	56643

Fuente: Documento SEMARNAT sin fecha.

2.5 Los principales problemas energéticos y ambientales en México

La utilización intensiva de los energéticos y su relación con el producto nacional y con las emisiones de GEI ha generado diversos efectos sobre el desarrollo de la actividad económica como del medio ambiente.

Las reuniones internacionales sobre el uso de energéticos y el desempeño ambiental han buscado la forma de que los países logren llegar al desarrollo sustentable²⁷ lo cual garantizaría recursos naturales y nueva tecnología para el mejor funcionamiento de las economías y de los ecosistemas en los siguientes años.

En México, debido a las trayectorias conjuntas entre producción y consumo de energía, ingreso y GEI existe un fuerte debate acerca de qué tipo de política debe de adoptar el gobierno y la sociedad para disminuir los efectos nocivos que genera esta relación. Diversas fuentes han reportado que la intensidad energética ha estado disminuyendo; esto quiere decir que se está utilizando cada vez menos energía para

²⁷ Se define como desarrollo sustentable a la manera de mejorar el bienestar actual de la población sin comprometer el bienestar de generaciones futuras para resolver sus propias demandas (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo) (Clive, 1999).

genera un punto de producto interno bruto real y que ha aumentado el ahorro energético como consecuencia de algunas políticas energéticas implantadas como fue el caso del año 2000 la cual fue de 3.1% menor que en 1999 (SENER, 2002). Pero aún, analizando las series energéticas se puede observar que todavía la trayectoria conjunta entre estas variables aún es muy marcada. Este es uno de puntos más importantes del debate para adoptar una política energética ya que existe temor de que con una política que busque disminuir el consumo de energía se sacrificará cantidad importante del crecimiento del producto interno bruto.

En el caso de la relación con las emisiones de GEI los datos de la Secretaría de Energía (SENER) y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) señalan que han disminuido las emisiones de bióxido de carbono y el bióxido de azufre con el uso de más energía, acompañado de un desacoplamiento entre el producto y las emisiones de bióxido de carbono en estos últimos años (SENER-SEMARNAT, 2002 y OCDE, 2003), pero aún México necesita trabajar más al respecto para poder desacoplar esta relación como lo han hecho algunos países principalmente miembros de la OCDE.

Las principales industrias generadoras de energéticos junto con la SENER, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología (INE) están ampliamente comprometidas a disminuir en los próximos años las emisiones de gases, como es el caso de PEMEX que está invirtiendo grandes cantidades de recursos para mejorar su infraestructura y sus productos que genera a través de sus diversos organismos descentralizados y subsidiados buscando impulsar la investigación en tecnología para tener una mayor eficiencia y competitividad en el mercado de los energéticos y contribuyendo a contaminar menos la atmósfera. En el caso de la industria eléctrica, la CFE también busca proteger al medio ambiente y contribuir con un desarrollo sustentable, mediante la aceptación de todas las repercusiones ambientales que generen sus diferentes actividades buscando un balance entre los beneficios y los costos; aumentando la protección ecológica especificada por las normas de cuidado del

ambiente; y apoyando la investigación y el desarrollo tecnológico materia de protección ambiental.

En términos generales, los problemas que México tiene que enfrentarse en el futuro son el hacer más eficiente su industria energética para que continúe impulsando como lo ha hecho hasta ahora, el crecimiento económico del país y la reducción de GEI.

Por lo tanto, la SENER y la SEMARNAT han trazado objetivos para poder conseguir el desarrollo sustentable, entre los objetivos principales se encuentran²⁸ los siguientes:

- (1) Reducir el impacto por el uso de los energéticos en el aire y en el agua,
- (2) Cambiar el consumo de combustibles hacia tecnologías que usen energéticos más limpios,
- (3) Mejorar la calidad de los energéticos,
- (4) Incrementar el uso de energías renovables,
- (5) Incrementar el ahorro y hacer más eficiente el uso de la energía,
- (6) Incrementar el uso de energía a zonas rurales,
- (7) Impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico para disminuir las emisiones en el sector energético,
- (8) Incrementar la infraestructura ambiental,
- (9) Integrar los aspectos ambientales a las decisiones económicas destacando la aplicación de diversas medidas para contrarrestar económicamente los daños causados por el uso de energéticos; y
- (10) Hacer frente a compromisos ambientales.

En consecuencia las medidas a tomar en los siguientes años, en términos generales, para poder cumplir con la mayoría de los anteriores objetivos son las siguientes:

²⁸ Para una revisión más detallada de los objetivos ver SENER-SEMARNAT (2002) y OCDE (2003).

En el caso del uso de la energía se buscará mediante los Mecanismos de Desarrollo Limpios (MDL) incrementar los proyectos para poder realizar investigaciones para mejorar la tecnología y utilizar combustibles más limpios implementando el uso del gas natural y la creación y utilización de nuevas tecnologías e impulsar el uso de otros tipos de energéticos como el gas natural, la energía solar y la energía eólica mediante mayores inversiones. Se tratará de que gran parte de la población marginal tenga acceso a la energía mediante diversos proyectos principalmente en lo referente al sector eléctrico, se tratará de aumentar el ahorro energético mediante la aplicación de campañas permanentes que motiven a la sociedad a consumir eficientemente la energía, entre otras medidas (SENER-SEMARNAT, 2002). También se buscará controlar el consumo mediante diversos instrumentos económicos los cuales no afecten el bienestar de la sociedad y mejore el uso energéticos como la eliminación de subsidios, los impuestos "verdes" (sobreprecio a la gasolina) y apoyar directamente a los ingresos en el sector agropecuario y residencial, como ejemplos (OCDE, 2003).

En lo referente a la contaminación del aire, se buscará disminuir la emisión de GEI mediante grandes inversiones que favorezcan el desarrollo de nuevas tecnologías y la transformación a energéticos más limpios principalmente de sus fuentes como son PEMEX y la CFE, así como establecer asuntos de calidad del aire en diversos sectores de la economía como el industrial, el residencial y el transporte.

Finalmente, México debe mejorar su estructura energética y económica para poder cumplir con los compromisos internacionales sobre emisiones. Esto lo realizará únicamente cumpliendo cada uno de los objetivos anteriores en el largo plazo logrando el desarrollo sustentable.

2.6 Conclusiones

Los sectores energéticos, como es el caso de la industria petrolera y eléctrica han sido elementos fundamentales para el desarrollo y crecimiento de México a partir de inicios del siglo XX y hasta la actualidad. México tiene una gran cantidad de recursos energéticos los cuales han sido utilizados, en algunos casos, de manera errónea a consecuencia de las políticas económicas implementadas como fue el caso de 1982 y 1986 en donde la economía mexicana entró en crisis. Estos hechos históricos demuestran que en la economía mexicana existe una relación causal entre la energía y el producto nacional. Dadas estas experiencias el país no debe depender en gran medida de las exportaciones petroleras debido a los desequilibrios que pueden llegar a ocasionar los precios internacionales del petróleo.

La producción de gas natural, tanto en México como en el mundo, se ha incrementado más que proporcionalmente la producción de hidrocarburos en los últimos años debido al impulso que la industria eléctrica con las plantas de ciclo combinado para la generación de electricidad por su fácil utilización y combustión limpia. Este combustible sustituirá a otros en diferentes actividades económicas convirtiéndose en uno de los más importantes en los próximos años.

Existe un fuerte debate acerca de las políticas que se deben aplicar para el control energético y del medio ambiente, debido a la correlación existente entre estas variables y el producto nacional lo cual genera incertidumbre en el crecimiento de la economía. Asimismo los resultados de los gases invernadero emitidos a la atmósfera señalan que algunos de ellos han disminuido como es el caso del dióxido de azufre en la industria eléctrica. Pero en general, aún existe la tendencia de emplear bastante energía lo que repercute en el aumento de las emisiones.

El país tiene grandes retos que resolver en los siguientes años en cuestiones energéticas y ambientales, de lo contrario se perderá presencia en el mercado energético y en consecuencia habrá un efecto negativo sobre la economía y el medio ambiente.

CAPÍTULO III

ESTIMACIÓN DE LOS MODELOS DE DEMANDA DE ENERGÍA NACIONAL Y POR SECTORES EN MÉXICO: 1965-2002 Y PRONÓSTICOS: 2003-2025

3.1 Introducción

El consumo de energía se ha convertido en un tema muy importante en los estudios económicos desde mediados de la década de los setenta hasta la actualidad. Por lo tanto, se han realizado investigaciones de diversos casos de países industrializados y en transición analizando principalmente la relación que existe entre la energía y el producto nacional, así como el efecto que han tenido los precios de la energía sobre la demanda y sobre el crecimiento económico del país en cuestión.

Asimismo, se ha presentado el debate acerca de cuál es el papel que tiene la energía dentro del sistema productivo, la forma de la especificación y la metodología econométrica la cual se ha convertido cada vez más vasta y compleja para poder construir modelos de oferta y demanda de energía, así como buscar la forma de desacoplar la trayectoria de energía y producto para muchos países y su implicación en el crecimiento económico y en el medio ambiente (Stern y Cleveland, 2003).

Las investigaciones para el caso mexicano han sido escasas destacando entre ellas las realizadas por Villagómez (1983), Cheng (1997), Galindo y Aroche (2000), Galindo (2005) y Galindo y Sánchez (2005). Estos estudios analizan las relaciones que existen entre energía, producto, precios relativos de la energía y empleo como variables más relevantes, así como para sustentar evidencia empírica para poder determinar una línea base para la aplicación de políticas energéticas y ambientales. Por lo tanto el objetivo de este capítulo es analizar cuál es el comportamiento del consumo de energía nacional y por sectores con algunas variables macroeconómicas importantes, sus relaciones en el largo y corto plazos y algunas proyecciones para los próximos años para México.

En consecuencia el capítulo tiene la siguiente estructura: se realiza un breve análisis de algunos estudios sobre consumo de energía que se han hecho para diversos países destacando la correlación y la causalidad que existe entre energía, el producto o ingreso y los precios relativos de la energía, principalmente; en base a la evidencia empírica existente, se analiza la teoría económica para poder construir ecuaciones de consumo de energía para el caso de México tanto nacional como por sectores de 1965 a 2002; y finalmente se realiza un escenario de crecimiento de la economía mexicana para las siguientes dos décadas con el objetivo de conocer el comportamiento de los distintos consumos de energía para esos años.

3.2 Teoría económica: La ecuación de demanda

El efecto de la energía se ha convertido en los últimos años en un caso que ha estado teniendo cada vez más importancia en la literatura económica ya que ha contribuido en mucho al desarrollo económico y al avance tecnológico en las actividades productivas. La energía también ha impulsado el estudio del efecto que ha causado su uso sobre el medio ambiente buscando diferentes maneras de disminuir la emisión de gases a la atmósfera sin sacrificar una buena parte del crecimiento de las economías.

Por lo tanto, las principales teorías del crecimiento durante años no habían tomado en cuenta la importancia de la energía y de los diversos recursos naturales para el crecimiento de una economía, sólo los investigadores de las ciencias naturales y ecológicas han tratado de tomar en cuenta la producción y el uso de la energía en el crecimiento (Stern y Cleveland, 2003). Uno de los principales argumentos por los cuales no es tomada en cuenta la energía por las teorías del crecimiento es debido a que se considera un bien intermedio que es usado completamente en comparación con el capital, el trabajo y la tierra que son factores primarios de la producción (Stern, 1999) los cuales son factores que componen una típica función de producción.

Por otro lado, existen diversos modelos para determinar la demanda de energía los cuales se basan en fundamentos microeconómicos y que utilizan complejas técnicas ya que necesitan conocer las cantidades de energía que utilizan diversas maquinarias y equipos; por otra parte están los modelos macroeconómicos en donde se encuentran los modelos de equilibrio general computable que tienen mucha consistencia teórica utilizando funciones de demanda y oferta compuestas por una gran cantidad de variables y necesitan demasiados supuestos para poder determinar la demanda de energía (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997); y los modelos econométricos los cuales están basados en pruebas estadísticas que carecen de consistencia teórica o la combinación de ambos tipos de modelos los cuales se han estado utilizando en la economía ambiental que han servido para realizar proyecciones y aplicar controles energéticos (Cline, 1992).

Tomando en cuenta lo anterior y dadas las características de las series estadísticas que se van a utilizar, se han construido modelos econométricos los cuales están basados en una función tradicional de demanda, la cual, de acuerdo a la teoría económica está determinada de la siguiente manera (Varian, 1999 y Pindyck y Rubinfeld, 1996):

3.2.1 La demanda individual

Se dice que las demandas de las cantidades óptimas de los bienes están determinadas en función del ingreso del consumidor y de los precios de los bienes, como se presenta a continuación considerando la existencia de dos bienes (x_1 y x_2) los cuales están representados cada uno por los precios (p_1 y p_2) y el ingreso (m) (ecuaciones (3.1) y (3.2)):

$$(3.1) \quad x_1 = f(p_1, p_2, m)$$

$$(3.2) \quad x_2 = f(p_1, p_2, m)$$

Por lo tanto, la demanda de un bien pueden depender de dos principales efectos: cambios en el ingreso y cambio en los precios.

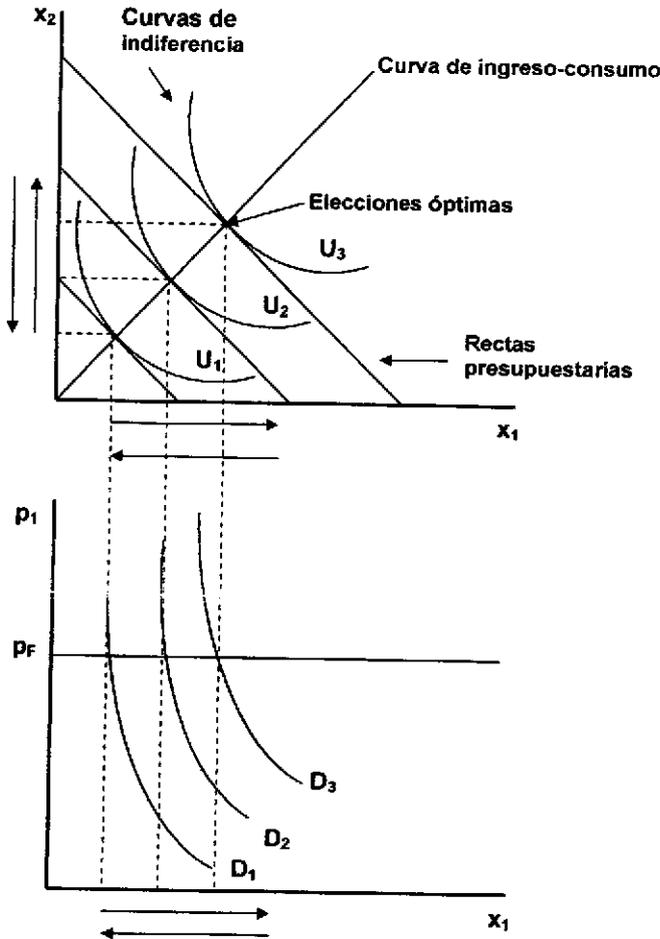
Cambios en el ingreso.

Para determinar los cambios en el ingreso debemos suponer que existen dos bienes (x_1 y x_2) y que su cantidades dependen de los precios de dichos bienes (p_1 y p_2) y del ingreso del individuo (m). Por consiguiente, si se mantienen constantes los precios de los bienes y aumenta el ingreso se altera la cantidad de los dos bienes aumentando la elección óptima a una tasa constante. En la Gráfica 3.1 se puede observar que las elecciones óptimas van creciendo conforme el ingreso aumenta y los precios no se modifican creando la llamada curva de ingreso-consumo que está construida por las cestas demandadas cuando se desplazan las rectas presupuestarias hacia fuera, esto ocasiona, además, que las demandas aumenten. También puede presentarse el efecto a la inversa en la demanda de los bienes si se presenta una disminución en el ingreso del consumidor.

Es importante mencionar que con el efecto ingreso puede haber modificaciones en los bienes, los cuales pueden ser determinados como bienes normales cuando se mantienen constantes los precios y por lo tanto pueden aumentar o disminuir en función de la variación del ingreso. También los bienes pueden ser inferiores cuando se mantienen los precios constantes y aumenta el ingreso del individuo, pero la demanda del bien disminuirá.

Gráfica 3.1

Demanda del bien 1 ante cambios en el ingreso y manteniendo los precios de los bienes fijos

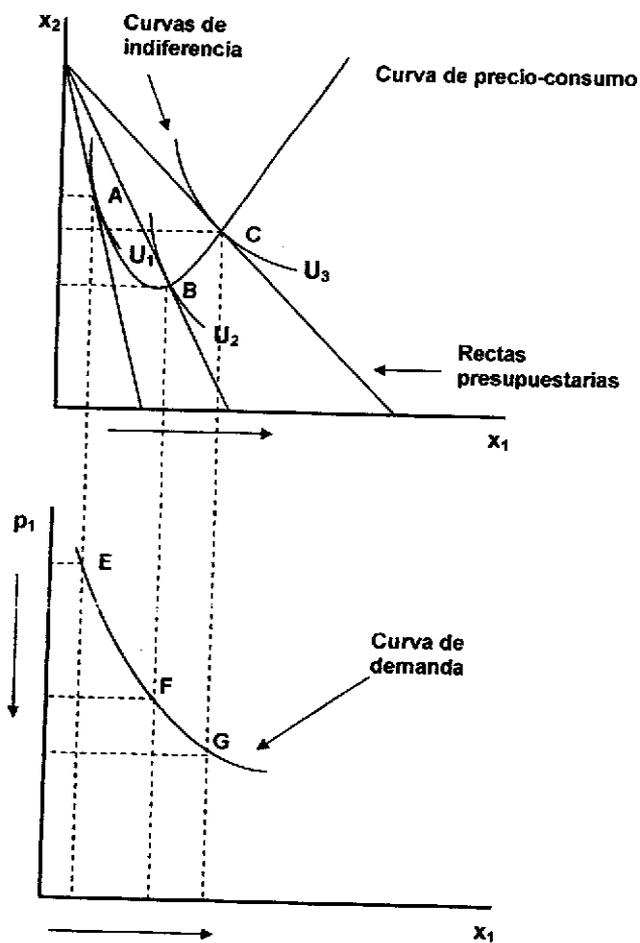


Cambios en el precio

En este caso se analizará como es la demanda de un bien por parte de un individuo cuando cambia el precio de un bien. Si se mantiene fijo el precio del bien 2 y el ingreso de un individuo y si disminuye el precio del bien 1, se tendrá por efecto que la cantidad de dicho bien aumentará como se muestra en la Gráfica 3.2, en donde tenemos una cesta óptima en el punto B y ésta correspondiente a una determinada cantidad y precio en el punto F, pero si disminuye el precio del bien 1 la elección óptima pasa del punto B al punto C aumentando la demanda de ese bien; en cambio si el precio del bien 1 aumenta la cantidad demandada de ese bien pasará del punto C al punto A y en consecuencia se ubicará en el punto E disminuyendo la cantidad demandada del bien 1.

La unión de los puntos A, B y C conforman la curva de precio-consumo que es la combinación de bienes que maximizan las utilidades y que están asociadas con cada uno de los precios de los bienes. En cambio la unión de los puntos E, F y G conforman la curva de demanda la cual depende de las variaciones de los precios y del ingreso para determinar una cantidad dada de bienes.

Gráfica 3.2
Demanda del bien 1 ante cambios en su precio y manteniendo el ingreso y el precio del bien 2 fijos



El efecto sustitución, el efecto ingreso y la ecuación de Slutsky

Teniendo en cuenta los anteriores cambios sobre el ingreso y sobre los precios de los bienes para determinar la cantidad demandada de un bien, se pueden dar dos tipos de efectos: el efecto sustitución y el efecto ingreso. Al presentarse variaciones entre los precios, por ejemplo, si disminuye el precio del bien 1 se tendrá que renunciar a una parte del consumo del bien 2 alterando la tasa en la cual podemos sustituir un bien por otro, esto es el efecto sustitución. Asimismo con la disminución del precio del bien 1 se puede comprar una mayor cantidad de éste y aumenta el poder adquisitivo del individuo aunque dicho ingreso no varíe, lo anterior es conocido como efecto ingreso.

Por lo tanto, para poder explicar ambos efectos se disminuirá el precio del bien uno, en consecuencia la recta presupuestaria gira en torno al eje de las ordenadas al origen teniendo una posición más horizontal. Este movimiento se puede dividir en dos fases: la primera fase "pivotea" alrededor de la cesta inicial demandada y en segunda fase se desplaza hasta la nueva cesta demandada.

En el caso donde la recta presupuestaria "pivotea" (Gráfica 3.3), ésta tiene la misma pendiente y los mismos precios relativos que la anterior, pero el ingreso monetario es distinto debido a que tiene diferente ordenada al origen. En consecuencia, si la cesta (x_1, x_2) está en la recta presupuestaria pivotada, la cesta es alcanzable manteniendo el mismo nivel adquisitivo. Para calcular el ajuste de ingreso monetario para que la anterior cesta siga siendo alcanzable se tiene que m' es la cantidad de ingreso con la que se accede a la elección inicial, tomando en cuenta que (x_1, x_2) es accesible tanto para (p_1, p_2, m) como con (p_1', p_2, m') se obtiene los siguiente resultado de la resta de dos ecuaciones:

$$(3.3) \quad m' - m = x_1[p_1' - p_1] = \Delta m = \Delta x_1 p_1$$

La ecuación (3.3) indica que la variación del ingreso necesaria para que la anterior cesta sea alcanzable a los nuevos precios es la cantidad del bien 1 multiplicada por

la variación de precios. Es importante mencionar que la relación entre la variación del ingreso y los precios tienen una relación directa para poder acceder a la misma cesta.

Esta ecuación puede considerarse como la recta presupuestaria correspondiente al nuevo precio y al nuevo ingreso que ha variado en Δm . Por lo tanto, el desplazamiento de la elección original a la nueva elección representada por el punto A (véase la Gráfica 3.3) se denomina como efecto sustitución la cual señala como sustituye un consumidor un bien por otro ante una modificación en un precio manteniendo el poder adquisitivo constante. El efecto sustitución se calcula mediante la siguiente ecuación (ecuación (3.4)) la cual necesitará utilizar la función de demanda ($x = f(p, m)$) para calcular las elecciones óptimas que correspondan a (p_1', m) y (p_1, m) :

$$(3.4) \quad \Delta x_1^S = x_1(p_1', m') - x_1(p_1, m)$$

En el caso de la segunda fase del ajuste de precios, es decir, el desplazamiento, se puede decir que el movimiento de la recta presupuestaria en paralelo se debe a la variación del ingreso y manteniendo los precios relativos constantes. Esta variación se conoce como efecto ingreso en donde se cambia únicamente el ingreso del consumidor m' por el ingreso m , manteniendo constantes los precios de los bienes (p_1', p_2) .

En la Gráfica 3.3 el desplazamiento se presenta pasando del punto A al punto B. Consecuentemente el efecto ingreso se define como la variación de la demanda que tiene el bien 1, cuando varía el ingreso de m' a m manteniendo constante el precio del bien 1 en p_1' , esto se puede formalizar en la siguiente ecuación (ecuación (3.5)):

$$(3.5) \quad \Delta x_1^N = x_1(p_1', m) - x_1(p_1', m')$$

Teniendo en cuenta que la variación total de la demanda Δx_1 depende de la variación de los precios de los bienes y de un ingreso constante, y que esta variación se puede dividir en efecto sustitución y en efecto ingreso los cuales se representan de la siguiente manera tenemos que:

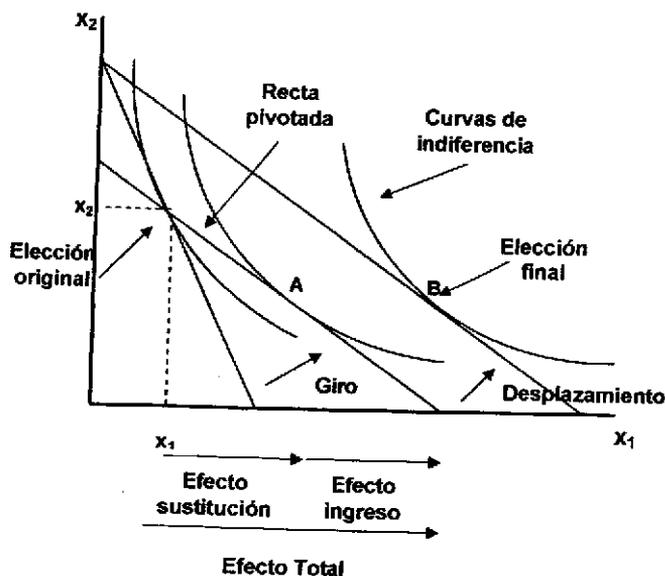
$$(3.6) \quad \Delta x_1 = \Delta x_1^S + \Delta x_1^N =$$

$$x_1(p_1', m) - x_1(p_1, m) = [x_1(p_1', m') - x_1(p_1, m)] + [x_1(p_1', m) - x_1(p_1', m')]$$

La ecuación (3.6) se conoce como la ecuación de Slutsky la cual señala que la variación total de la demanda es igual a la suma del efecto sustitución más el efecto ingreso. Por lo tanto el signo que debe de tener el efecto total puede ser negativo o positivo ya que si se está hablando de un bien normal el efecto sustitución y el efecto ingreso actúan en el mismo sentido debido a que si aumenta el precio cae la demanda por el efecto sustitución, en cambio con el mismo aumento de precios el ingreso cae y disminuye la demanda. En el caso de un bien inferior existe compensación del efecto ingreso hacia el efecto sustitución con la posibilidad de que el efecto total sobre la demanda sea positivo por el aumento del precio, pero si el incremento en el efecto ingreso es muy grande este podría aumentar la demanda del bien inferior.

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo anterior, se puede deducir la llamada ley de la demanda la cual señala que: *si aumenta la demanda de un bien cuando aumenta el ingreso, la demanda debe descender cuando aumenta el precio de dicho bien.*

Gráfica 3.3
Efecto sustitución, efecto ingreso y efecto total



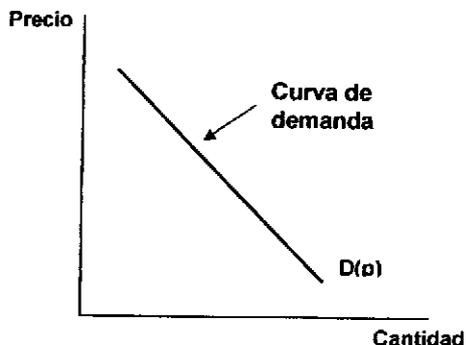
3.2.2 La demanda de mercado

Se define como demanda de mercado o demanda agregada a la suma de las demandas de todos los consumidores, es decir, la demanda de mercado está en función básicamente de los precios y de las distribuciones de los ingresos en comparación de la demanda individual que dependía del precio de los bienes y del ingreso de cada individuo. Lo anterior se representa de la siguiente manera:

$$(3.7) \quad X^1(p_1, p_2, m_1, \dots, m_n) = \sum_{i=1}^n x_i^1(p_1, p_2, m_i)$$

Por lo tanto, la función de demanda agregada se representa de la forma: $X^1(p_1, p_2, M)$ en donde M es la suma de los ingresos de todos los individuos. Si se mantienen constantes los ingresos y el precio del bien 2, la demanda de mercado del bien 1 puede ser como se representa en la Gráfica 3.4.

Gráfica 3.4
Curva de demanda del mercado



En el caso de los bienes sustitutos, se puede suponer que si los bienes 1 y 2 son de este tipo y el precio del bien 2 aumenta de precio se tendrá como consecuencia un aumento en la cantidad demandada del bien 1 sin importar el precio que tenga, ocasionando que la recta se desplace hacia fuera. En el caso de los bienes complementarios el aumento del precio del bien 2 ocasionará que la demanda del bien 1 también disminuya desplazando la recta hacia adentro.

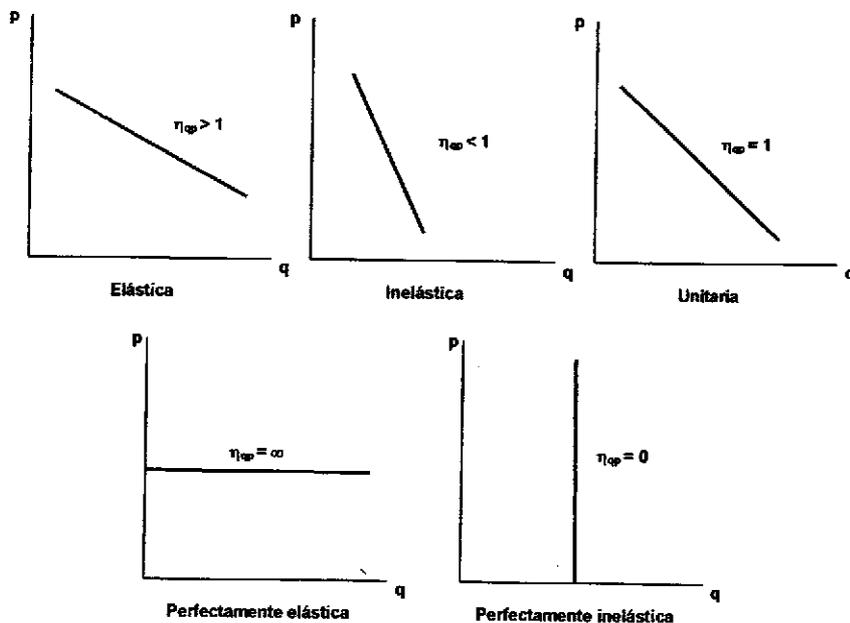
Un punto importante para determinar la demanda de un bien es mediante una medida de "sensibilidad" que capture las variaciones del precio y del ingreso la cual se conoce como elasticidad que se define como de la cantidad demandada al precio, ésta se mide en términos porcentuales y se representa de la siguiente manera:

$$(3.8) \quad \epsilon = \Delta q / p / \Delta p / p \Rightarrow \epsilon = p \Delta q / q \Delta p$$

Esta expresión se puede interpretar como el cociente entre el precio y la cantidad multiplicada por la pendiente de la curva de demanda. El signo de la elasticidad regularmente es negativo debido a que la pendiente de la curva de demanda tiene pendiente negativa. Las elasticidades pueden representar diferentes valores porcentuales, por lo tanto si una elasticidad tiene un valor mayor que 1 en valor absoluto se dice que la demanda es *elástica*, si la elasticidad tiene una pendiente menor que 1 en valor absoluto se dice que es *inelástica*, si tiene una elasticidad exactamente igual a 1 la elasticidad de la demanda es *unitaria*.

También existen los casos extremos en donde si la elasticidad tiene un valor de infinito en valor absoluto se dice que es perfectamente elástica y si la elasticidad tiene un valor de cero se dice que es perfectamente inelástica. Gráficamente las elasticidades se representan de la siguiente manera:

Gráfica 3.5
Elasticidades de la curva de demanda



Un ejemplo sencillo de cómo funcionan las elasticidades es si tenemos para la generación de electricidad dos tipos de combustibles los cuales se pueden considerar como sustitutos perfectos: el combustóleo y el gas natural y que al principio tuvieran el mismo precio, pero poco tiempo después se decide aumentar el precio del combustóleo y el precio del gas natural no varía, en consecuencia la cantidad demandada de combustóleo disminuiría lo cual lo haría muy elástico. Si sólo existieran estos dos combustibles y se presenta un aumento del precio del combustóleo, su demanda sería inelástica.

En el caso del ingreso, se define como el precio de un bien multiplicado por su cantidad: $I = pq$, resultando un aumento del ingreso si disminuye el precio del bien. En consecuencia la elasticidad precio está ligada a la variación del ingreso, en consecuencia la variación del ingreso se define como:

$$(3.9) \quad \Delta I = q\Delta p + p\Delta q$$

Esta ecuación significa que la variación del ingreso es igual a la cantidad multiplicada por la variación del precio más el precio multiplicado por la variación de la cantidad. Por ende el ingreso puede aumentar cuando se incrementa el precio si la elasticidad de la demanda es menor que uno en valor absoluto, y disminuye cuando aumenta el precio si la elasticidad es mayor que uno en valor absoluto.

3.3 La evidencia empírica de la demanda de energía

La evidencia empírica internacional acerca del consumo de energía con relación al crecimiento económico ha sido importante debido al desarrollo de las economías más industrializadas y en vías de desarrollo el cual ha ocasionado que existan muchos estudios sobre estos países obteniendo diversos resultados los cuales dependen fundamentalmente de las bases de datos y de la metodología econométrica que los investigadores estén utilizando.

Los estudios acerca de la relación que existe entre energía y producto comienzan principalmente a finales de los años setenta con el estudio que realizaron Kraft y Kraft (1978) para la economía de Estados Unidos concluyendo que existe una causalidad unidireccional de producto a consumo de energía. Un año después Akarca y Long (1980) realizaron el mismo estudio para Estados Unidos aumentando la muestra de datos y concluyendo lo mismo que el estudio anterior.

En la década de los ochenta, Yu y Hwang (1984) investigaron nuevamente a Estados Unidos concluyendo que no existe causalidad del consumo de energía hacia producto, lo cual contradice los anteriores resultados realizados. Yu y Choi (1985), estudiaron a cinco países: Estados Unidos, Reino Unido, Polonia, Corea del Sur y las Filipinas encontrando no causalidad de producto a energía para Estados Unidos, el Reino Unido y Polonia, en cambio se encontró causalidad en el mismo sentido para Corea del Sur y causalidad de energía a producto en las Filipinas. En el siguiente año Erol y Yu (1987), también hicieron un análisis para varios países entre los cuales se encontraban Japón, Alemania Occidental, Italia, Canadá, Francia y el Reino Unido encontrando causalidad unidireccional de consumo de energía a ingreso para Alemania Occidental, de producto a energía en Italia y Japón y neutralidad con respecto a los demás países.

En la siguiente década, Hwang y Gurn (1991) estudiaron a Taiwan encontrando causalidad bi-direccional, lo cual ante una conservación de energía se restringirá el crecimiento económico de dicho país. Por otro lado Engsted y Bentzen (1993) hicieron un estudio sobre Dinamarca de 1900 a 1991 y utilizan además de las dos variables mencionadas a los precios relativos de la energía, encontrando como resultados que en el largo plazo (1990-1991) existe una relación entre energía y producto, neutralidad de la energía (1900-1947), así como los precios relativos de la energía que son importantes en el corto y largo plazos de 1948 a 1991.

En el caso de la economía española, López (1996) analizó el período 1964-1987 agregando a su modelo la variable tendencia la cual encontró con signo negativo interpretándola como el ahorro energético. Después Glasure y Lee (1997) analizaron

a Corea del Sur y a Singapur determinando la causalidad de dos maneras: una utilizando la técnica de cointegración (Johansen, 1988 y Engle y Granger, 1987) encontrando causalidad bi-direccional y la otra mediante la prueba de no causalidad de Granger convencional, obteniendo como resultado que no existe causalidad entre el producto y la energía para Corea y causalidad en el sentido de energía a producto para Singapur.

Hacia finales de esa década Cheng (1997) realizó un estudio sobre tres países latinoamericanos reportando que en México y Venezuela no hay causalidad entre consumo de energía y producto, en cambio en Brasil la energía determina al producto.

Recientemente Asafu-Adjaye (2000) realizó un estudio para el caso de la India, indonesia, Filipinas y Tailandia en donde encontró que existe correlación entre el consumo de energía, el producto y los precios; además de encontrar causalidad unidireccional en el corto plazo de energía a producto en la India e Indonesia y causalidad bi-direccional en el sentido de Granger para Tailandia y las Filipinas. Para el caso de Estados Unidos, Stern (2000) integra nuevas variables al modelo de demanda de energía poniéndola en función del producto, de la inversión y del empleo y mediante técnicas de cointegración concluye que la energía es importante para el crecimiento de la economía la cual no puede ser excluida del espacio de cointegración.

En el siguiente año Chang, Fang y Wen (2001) realizan un nuevo estudio para Taiwan tomando como variables el consumo de energía, el empleo total y el índice de producción industrial encontrando causalidad bi-direccional entre el empleo y el índice de producción y del empleo a la energía. Glasure (2002) incluye para su demanda de energía para Corea, además del producto, una variable monetaria, el gasto de gobierno y los precios del petróleo y mediante cointegración determina que los precios del petróleo son los principales determinantes del producto y del consumo de energía, además de una causalidad en ambos sentidos entre energía y producto. En ese mismo año se realiza un estudio para Grecia reportando que en el

largo plazo existen relaciones entre las variables energía, producto y precios al consumidor, concluyendo que debido a los cambios en el consumo de energía, esta variable debe ser considerada endógena para el producto y los precios (Hondroyannis, Lolos y Papapetrou, 2002). Soytas y Sari (2003) realizan un estudio para los países del G-7 sólo utilizando las variables consumo de energía y producto encontrando causalidad en el largo plazo de energía a producto en Turquía, Francia, Alemania Occidental y Japón, causalidad inversa en Italia y Corea y causalidad en ambos sentidos en Argentina y en lo referente al corto plazo sólo encontró causalidad bi-direccional en Argentina y Turquía.

En el año 2004 se realizó nuevamente un estudio para Corea (Oh y Lee, 2004) utilizando las mismas variables que Stern (2000) para Estados Unidos, en este estudio concluye que las variables inversión y trabajo no son importantes para fines de causalidad por lo que encuentra que sólo hay causalidad en el corto plazo de energía a producto descartando la neutralidad de la energía y en el largo plazo encuentra causalidad bi-direccional.

También se han realizado investigaciones acerca del comportamiento que han seguido específicos tipos de energéticos y su impacto sobre el crecimiento económico de un país como es el caso de la electricidad como son los trabajos realizados para China por Shiu y Lam (2004) que encuentran que existe una relación causal entre consumo de electricidad a producto real y no a la inversa, concluyendo que entre las dos variables se ha estado presentando un cierto desacoplamiento basándose en que la tasa de crecimiento de la electricidad no crece en una proporción de uno a uno con respecto al producto chino; y el estudio de Yoo (2004) para Corea muestra que sólo hay causalidad de consumo de electricidad a crecimiento económico en el corto y largo plazos lo cual indica que se deben consumir grandes niveles de electricidad, incrementar otros factores para incrementar el producto real de Corea. Otras investigaciones como en el caso de Australia (Narayan y Smyth, 2003), se incluyen variables como el empleo para determinar el consumo de electricidad, en consecuencia los resultados indican que existe cointegración entre las series, y que el empleo y el producto causan a la

energía eléctrica en el largo plazo y en el corto plazo existe una causalidad muy débil que va de ingreso a electricidad y de ingreso a empleo, además de pronosticar que el consumo de electricidad se incrementará constantemente en los siguientes años.

En lo referente a las investigaciones acerca del consumo de energía en México, destacan entre ellas las de Villagómez (1983) que fue uno de los primeros estudios acerca de la demanda de energía en México²⁹. Este estudio analiza al sector manufacturero en donde se encontró que el consumo energético es relativamente inelástico a las variaciones de la producción y los precios de los energéticos no tienen un efecto importante.

Otra investigación la realizaron Galindo y Aroche (2000) en donde construyen un modelo de demanda de energía encontrando alta correlación con el producto y crean una línea base para determinar el efecto que tendrá el consumo de energía sobre las emisiones de GEI.

Otro estudio de la demanda de energía para el caso mexicano fue el de Galindo (2005) en el cual se analiza la energía nacional y por sector económico encontrando que, en general, existe causalidad entre el consumo de energía y el producto y que los precios relativos de la energía sólo son importantes en el corto plazo en el consumo nacional y por sectores con excepción del sector residencial que está determinado por el ingreso. Finalmente Galindo y Sánchez (2005) incluyen la variable empleo al consumo nacional de energía, el ingreso y los precios relativos de la energía, encontrando como resultados que las series involucradas cointegran, así como la ausencia de cambio estructural durante el período de análisis que pudiera afectar el comportamiento del consumo de energía nacional, que existe una relación bi-direccional entre energía y producto y que la energía y el empleo son bienes sustitutos.

²⁹ Otro de los primeros estudios sobre la demanda de energía fue el que realizó el Instituto Mexicano del Petróleo en 1976 titulado "Demanda de energía en el sector industrial".

3.4 Evidencia empírica del consumo de energía en México

Tomando en cuenta los aspectos teóricos y la metodología econométrica, la demanda de energía tanto nacional y por sectores que están conformados por el sector agropecuario, industrial, residencial y transporte se pueden modelar como demandas típicas de un bien en función del ingreso y de los precios de dicho bien (Varian, 1999 y Pindyck y Rubinfeld, 1996).

Por lo tanto, entre las variables a utilizar para construir los modelos econométricos tenemos el consumo de energía nacional (CNE_t), el consumo de energía residencial (CER_t) y el consumo de energía del sector transporte (CET_t) los cuales estarán en función del ingreso real (Y_t) (PIB real) y por los precios relativos de la energía (PRE_t) los cuales están definidos como el cociente del índice de precios de la energía y el índice nacional de precios al consumidor. En el caso del consumo de energía del sector agropecuario (CEA_t) y el consumo de energía industrial (CEI_t) estos dependerán del ingreso agropecuario real (YAG_t) (Producto agropecuario real) y del ingreso industrial (YIN_t) (Producto Industrial real) respectivamente, así también de los precios relativos de la energía³⁰. En consecuencia los modelos se especificarán como el consumo de energía que depende de la elasticidad ingreso en forma positiva y de la elasticidad precio de manera negativa, el término de error debe presentar media igual a cero y varianza constante como se muestra en la ecuación (3.10)³¹.

$$(3.10) \quad ce_{it} = \beta_0 + \beta_1^+ y_{it} + \beta_2^- pre_t + u_t$$

(+) (-)

Para saber cual es la relación y la importancia entre estas variables, en el Cuadro 3.1 se muestran las matrices de correlaciones entre el consumo de energía nacional y por sector, el producto respectivo para el sector correspondiente y los precios relativos de la energía.

³⁰ Ver Anexo II para una definición más detallada de las series estadísticas así como de sus fuentes.

³¹ En el Anexo I se encuentra explicada la metodología econométrica que se va a utilizar en este capítulo para la construcción de los modelos de energía nacional y por sectores.

Cuadro 3.1
Matrices de correlación

Consumo nacional de energía, producto interno bruto y precios relativos de la energía			
cne_t	1.000	y_t	pre_t
y_t	0.986	1.000	
pre_t	-0.031	0.091	1.000
Consumo de energía del sector agropecuario, producto agropecuario y precios relativos de la energía			
cea_t	1.000	yag_t	pre_t
yag_t	0.951	1.00	
pre_t	-0.180	-0.005	1.000
Consumo de energía del sector industrial, producto industrial y precios relativos de la energía			
cei_t	1.000	yin_t	pre_t
yin_t	0.952	1.000	
pre_t	-0.097	0.117	1.000
Consumo de energía del sector residencial, producto interno bruto y precios relativos de la energía			
cer_t	1.000	y_t	pre_t
y_t	0.977	1.000	
pre_t	0.093	0.091	1.000
Consumo de energía del sector transporte, producto interno bruto y precios relativos de la energía			
cet_t	1.000	y_t	pre_t
y_t	0.993	1.000	
pre_t	0.031	0.091	1.000

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, BANXICO y SENER.

Los resultados señalan que la correlación entre la energía y el ingreso es positiva y bastante alta obteniendo correlaciones mayores al 0.95 (95 por ciento) en todos los casos. Por otra parte, las correlaciones de energía con respecto a los precios relativos muestran que la correlación que existe entre ellas es muy baja además de que en los tres primeros casos (nacional, agropecuario e industrial) la correlación es negativa lo cual señala que las series tienen trayectorias diferentes. Caso parecido resulta la correlación entre producto y precios relativos que presentan una

correlación también muy baja y es negativa sólo en el caso del producto agropecuario.

Para poder especificar el orden integración y en consecuencia realizar las pruebas de cointegración se aplicaron a las series utilizadas pruebas de raíces unitarias Dickey-Fuller Aumentada (ADF) (1981), Phillips-Perron (PP) (1988) y KPSS (1992). Para la prueba ADF se realizó el criterio de lo general a lo específico en donde el número de rezagos correcto fue determinado mediante el criterio t-sig (Ng y Perron, 1995) en donde se realiza una estimación con 4 rezagos, debido a que las series son anuales, y se busca la significancia del último rezago la cual debe ser menor a 0.10 para poder determinar el rezago óptimo de la prueba. En el caso de la prueba PP y KPSS, el número correcto de rezagos se calculó obteniendo la raíz cúbica y la raíz cuadrada del número de observaciones respectivamente. En consecuencia, todos los casos señalan que el consumo de energía son series no estacionarias de orden de integración $I(1)$. El mismo resultado se presenta para el producto nacional, el producto agropecuario, el producto industrial y los precios relativos de la energía (ver Cuadro AII.1 en el Anexo II).

3.4.1 Consumo nacional de energía

Basándose en la teoría económica y en la metodología explicada en el Anexo I se modelará la demanda de energía nacional de México especificada como en la ecuación (AI.22 en el Anexo I) a través de un modelo VAR correctamente especificado con el número correcto de rezagos (ver Cuadro AII.2 en el Anexo II) y las pruebas de mala especificación (ver Cuadro AII.3 en el Anexo II) y utilizando en procedimiento de Johansen (1988) y de Hansen y Johansen (1993). Esto debido a que el comportamiento del consumo nacional de energía ha estado sujeto a diversos factores tanto de origen interno como de sucesos internacionales durante el período que estamos analizando. Ello ocasiona que en la serie se produzcan cambios estructurales y en consecuencia la tendencia de la serie cambia de manera significativa por lo que la especificación anterior puede ser errónea. Por lo tanto, los resultados obtenidos con el programa econométrico MALCOLM (Maximum

Likelihood Cointegration Analysis of Linear Models) (Mosconi, 1998) se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.2

Prueba de cointegración basadas en el procedimiento de Johansen (1988) y de Hansen y Johansen (1993)

$$cne_t = \beta_1 * y_t + \beta_2 * pre_t$$

Rango	Constante	Tendencia	Estadístico de la Traza	Valores Críticos (5%)
$r = 0$	0	0	57.97*	24.31
$r \leq 1$	0	0	5.62	12.53
$r \leq 2$	0	0	1.96	3.84

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. La hipótesis nula es aceptada cuando el valor calculado del estadístico de la Traza es menor al valor crítico. Número de rezagos en el VAR = 1. Periodo 1966-2002.

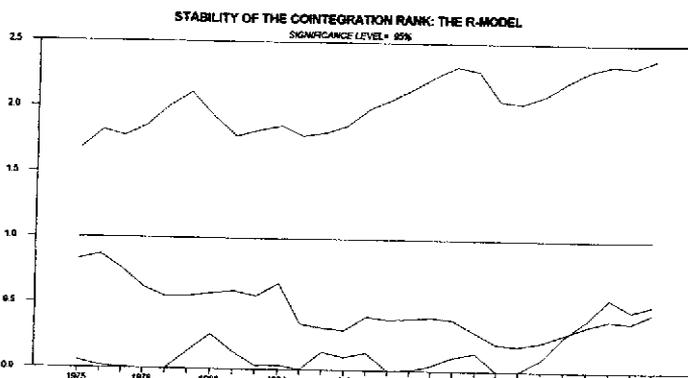
El modelo especificado es un VAR con un rezago, sin constante y sin tendencia y los resultados obtenidos muestran que atendiendo al estadístico de la traza existe al menos un vector de cointegración, por lo tanto normalizando el primer vector obtenemos la ecuación de largo plazo:

$$(3.11) \quad cne = 0.636 * y_t - 0.187 * pre_t$$

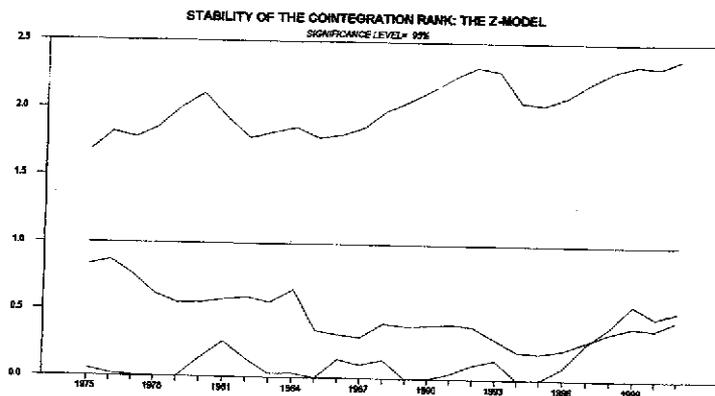
Esta ecuación normalizada señala que en la relación de largo plazo el consumo de energía nacional tiene una elasticidad ingreso positiva de 0.6 y una elasticidad precio negativa, lo cual señala que el consumo de energía está determinado fundamentalmente por el ingreso nacional ya que los precios de la energía tienen un efecto muy bajo.

Por otro lado, es importante saber si el rango de cointegración encontrado mediante estos procedimientos de cointegración es estable. Este comportamiento se analizará con los modelos R y Z que se presentan en las siguientes gráficas (Gráfica 3.6 y Gráfica 3.7):

Gráfica 3.6
Modelo R. Estabilidad del rango de cointegración



Gráfica 3.7
Modelo Z. Estabilidad del rango de cointegración



Las Gráficas 3.6 y 3.7 están ajustadas para que presenten la estabilidad de una submuestra fija de 28 observaciones (la muestra total es de 38 observaciones) y en las cuales se observa que la primera línea de arriba hacia abajo representa la hipótesis para el rango $r = 0$ en donde se rechaza claramente para cualquier tamaño de la

muestra a una nivel de significancia del 95% considerando que el ratio de la prueba debe ser superior a uno. La segunda línea de arriba hacia abajo representa al rango de cointegración $r \leq 1$ (el cual representa al vector de cointegración encontrado mediante la prueba de la traza) en donde se acepta la hipótesis siendo estable; lo mismo sucede con la tercera línea que es el rango $r \leq 2$. Por lo tanto se puede decir que los rangos de cointegración son estables a lo largo del período y en consecuencia no existe cambio estructural en el consumo nacional de energía el cual cambie radicalmente la tendencia de la serie a explicar obteniendo una relación de largo plazo bien especificada.

El modelo encontrado puede proporcionar información relevante acerca del consumo de energía nacional, no obstante es importante conocer si las variables explicativas son útiles y poder tomarlas en cuenta como instrumento de control energético. Por lo tanto se realizaron pruebas de exogeneidad débil sobre los parámetros y se obtuvieron como resultados que la demanda de energía y el ingreso no son exógenos débiles, en cambio los precios relativos de la energía rechazan la hipótesis nula por lo que se pueden considerar como exógenos débiles en el largo plazo (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3
Pruebas de exogeneidad débil

$\chi^2(1)$	α_0	α_1	α_2
	34.263 [0.000]	36.718 [0.000]	0.050 [0.822]*

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de nivel de significancia. $H_0: \alpha = 0$. (α_0 esta relacionado con consumo nacional de energía, α_1 está relacionado con el producto y α_2 esta relacionado con los precios relativos de la energía). Período 1966-2002.

Tomando en cuenta estos resultados presentados por las pruebas de exogeneidad, débil se reespecificará la ecuación de consumo de energía nacional sólo en función del ingreso³², utilizando de nuevo el procedimiento de Johansen (1988) y Hansen y

³² Se volvió a especificar el VAR con los criterios de AIC, SC y HQC y se hicieron las pruebas de mala especificación (ver resultados en los Cuadro AII.2 y AII.3 en el Anexo II).

Johansen (1993) sobre un modelo VAR con un rezago sin constante y sin tendencia y en donde el estadístico de la traza vuelve a señalar la existencia de un vector de cointegración (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4

Prueba de cointegración basadas en el procedimiento de Johansen (1988) y de Hansen y Johansen (1993)

$$e_t = \beta_1 * y_t$$

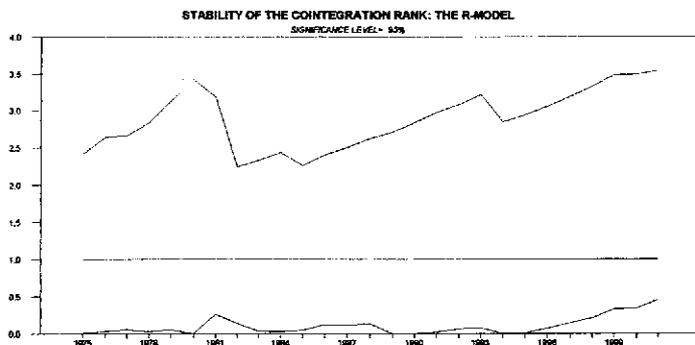
Rango	Constante	Tendencia	Estadístico de la Traza	Valores Críticos (5%)
$r = 0$	0	0	44.39*	12.53
$r \leq 1$	0	0	1.74	3.84

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. La hipótesis nula es aceptada cuando el valor calculado del estadístico de la Traza es menor al valor crítico. Número de rezagos en el VAR = 1. Periodo 1966-2002.

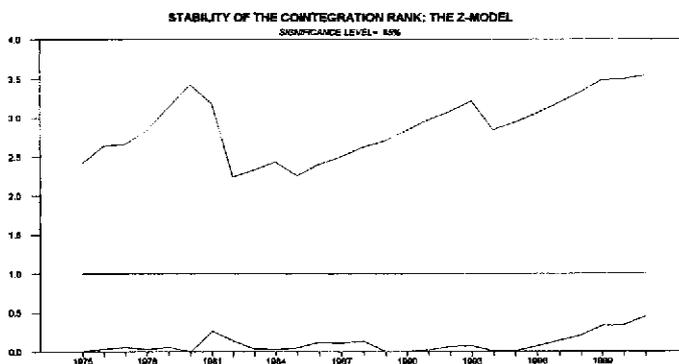
Asimismo nuevamente se normalizó el primero vector obtenido la nueva ecuación de consumo de energía nacional de largo plazo en donde se observa que el consumo de energía nacional tiene un elasticidad ingreso positiva menor que la unidad y cercana a 0.5 (ecuación (3.12)) similar a la elasticidad encontrada en el modelo anterior y a estudios como los realizados por Villagómez (1983) y Galindo (2005) para México y Shiu y Lam (2004) para China, por lo que ratifica que los precios relativos de la energía no son tan importantes en el largo plazo. Además graficando los rangos de cointegración mediante los modelos R y Z (Gráficas 3.8 y 3.9) se puede ver que el rango de cointegración $r = 0$ (primera línea de arriba hacia abajo) rechaza la hipótesis de estabilidad, en cambio el rango de cointegración $r \leq 1$ está por debajo de uno. De este modo, se acepta la hipótesis teniendo como resultado general que existe estabilidad en el rango de cointegración y en consecuencia no hay evidencia de cambio estructural y la información necesaria en el modelo para poder determinar la demanda nacional de energía.

$$(3.12) \quad cnè_t = 0.633 * y_t$$

Gráfica 3.8
Modelo R. Estabilidad del rango de cointegración



Gráfica 3.9
Modelo Z. Estabilidad del rango de cointegración



Mediante el teorema de especificación de Engle y Granger (1987) se utilizará el vector de cointegración como mecanismo de corrección de error con el cual se realizará una ecuación de corto plazo en donde se incluirán los precios relativos de la energía debido a que no son significativos en las relaciones de largo plazo, pero

podrían serlo en el corto plazo obteniendo la siguiente ecuación con sus respectivas pruebas de diagnóstico³³:

$$(3.13) \quad \Delta cne_t = 0.529 \Delta y_t - 0.190 \Delta pre_t - 0.045 ecm_{t-1}$$

(4.025) (-3.833) (-3.374)

Pruebas de diagnóstico:

$$R^2 = 0.703$$

Normalidad J-B = 0.204 (0.902)

Autocorrelación LM (2) = F: 0.492 (0.615)

Heterocedasticidad ARCH (2) = F: 0.097 (0.907)

Error cuadrático medio (Root Mean Squared Error) RMSE = 0.023

Los resultados señalan que el modelo de consumo nacional de energía está bien especificado, debido a que no presenta problemas de autocorrelación y heterocedasticidad, así como la existencia de normalidad en los términos de error, y el error cuadrático medio es muy pequeño lo cual es favorable para fines de pronóstico; además de que el coeficiente de determinación es en términos generales bueno. En cuanto a los resultados de los coeficientes, estos son estadísticamente significativos.

Además el mecanismo de corrección de errores es negativo estadísticamente significativo lo cual señala que en cada año se corrige el desequilibrio de largo plazo en un 5% aproximadamente. Esto indica que el consumo de energía en el corto plazo está determinado en mayor medida por el ingreso con una elasticidad menor que la unidad (0.53), y de una elasticidad precio de cercano a -0.2. En consecuencia, en el corto plazo los precios de la energía tienen un efecto menor aunque un poco importante debido a que un alza en los precios de los energéticos tendrá un efecto mínimo sobre el consumo aunque la mayor parte sigue dependiendo de los cambios que se presenten al modificar el ingreso de los agentes económicos.

³³ Los valores entre paréntesis en la ecuación de corto plazo es el t-estadístico de cada coeficiente.

Asimismo con la información obtenida de largo y corto plazos para el consumo nacional de energía se realizó la prueba de causalidad de Granger (Engle y Granger, 1987) de forma contemporánea (t) y con un rezago (t-1) incluyendo el mecanismo de corrección de errores y los precios relativos de la energía debido a su probable importancia en el corto plazo. Los resultados que se presentan en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5
Pruebas de causalidad de Granger
(Estadísticos de Wald)

Hipótesis Nula H_0	Contemporáneo		Hipótesis Nula H_0	Un rezago	
	$\chi^2(1)$ (t)	$\chi^2(1)$ ecm (t-1)		$\chi^2(1)$ (t-1)	$\chi^2(1)$ ecm (t-1)
Δy_t no causa a Δcne_t	105.66 [0.00]*	16.20 [0.00]*	Δy_t no causa a Δcne_t	4.05 [0.04]*	1.40 [0.24]
Δpre_t no causa a Δcne_t	7.34 [0.01]*	14.69 [0.00]*	Δpre_t no causa a Δcne_t	2.59 [0.11]	0.13 [0.72]
Δcne_t no causa a Δy_t	105.66 [0.00]*	16.20 [0.00]*	Δcne_t no causa a Δy_t	2.05 [0.15]	0.00 [0.97]
Δcne_t no causa a Δpre_t	7.34 [0.01]*	14.69 [0.00]*	Δcne_t no causa a Δpre_t	0.04 [0.84]	0.45 [0.50]
Δpre_t no causa a Δy_t	2.19 [0.14]	0.17 [0.68]	Δpre_t no causa a Δy_t	1.01 [0.31]	0.25 [0.61]
Δy_t no causa a Δpre_t	2.19 [0.14]	0.17 [0.68]	Δy_t no causa a Δpre_t	0.11 [0.74]	0.45 [0.49]

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Se utilizó el mecanismo de corrección siguiente $ecmcne_{t-1} = cne_t - 0.633^*y_t$. Período 1966 - 2002.

La evidencia empírica señala que se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto hay una causalidad de Granger contemporánea bi-direccional entre los cambios en la energía y el producto. También se puede ver que existe causalidad bi-direccional contemporánea entre la energía y los precios relativos; además de que la prueba con un rezago se presenta una relación unidireccional entre la energía y el producto. Los resultados encontrados son distintos a los reportados por Cheng (1997) para el caso mexicano en donde se señala que no existe una relación causal entre energía y producto. En cambio, en investigaciones para otros países se encontraron al menos causalidad unidireccional entre energía y producto como en los casos de

Akarka y Long (1979) para Estados Unidos, Yu y Choi (1985) para Corea y Filipinas, Erol y Yu (1987) para Alemania Occidental, Italia y Japón, Hwang y Gum (1991) para Taiwan, Engsted y Bentzen (1993) para Dinamarca, Glasure y Lee (1997) para Singapur, Cheng (1997) en el caso de Brasil, Murry y Nan (1990), Asafu-Adjaye (2000) para Indonesia, India, Filipinas y Tailandia, Stem (2000) para Estados Unidos, Chang, Fang y Wen (2001) para Taiwán, Glasure (2002) para Corea, Shiu y Lam (2004) para China, entre otros.

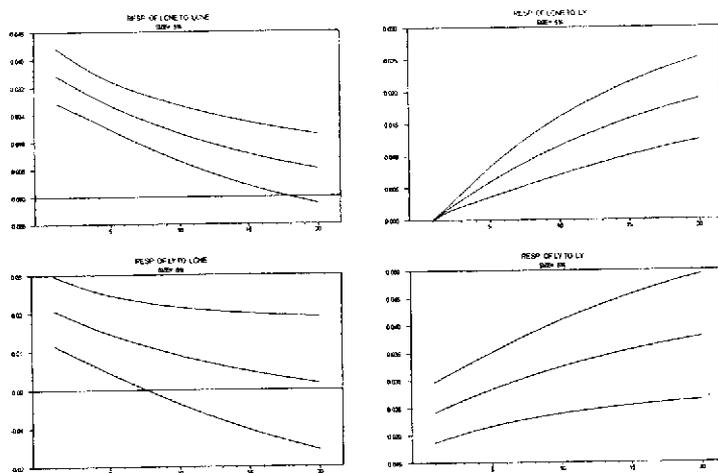
Lo anterior significa que existen elementos para realizar un proceso de retroalimentación complicado entre los cambios en las variables que deben de considerarse en el diseño de una política de control energético. Es importante mencionar que en los casos de Taiwán y Corea, la relación es más directa debido a que son países exportadores de energéticos principalmente. Caso contrario el de México o algún país industrializado en donde la causalidad de energía a producto depende de la dinámica que exista con otras variables macroeconómicas.

Por lo tanto, en el caso mexicano existe una variación de la posición de equilibrio entre el consumo de energía, el producto y los precios relativos que se va a corregir mediante el ajuste que puede hacer la relación de largo plazo, así como la relación de corto plazo entre el producto y el consumo de energía. Por lo que se puede decir que, de presentarse una expansión de la economía mexicana, el consumo de energía también va a aumentar teniendo en cuenta que los efectos que tengan los precios relativos de la energía van a ser muy erráticos como señalan las pruebas realizadas.

Es importante analizar los cambios que se presentarían en la interacción de las variables ante *shocks* en las mismas variables utilizadas dentro del sistema. Para esto se realizará el análisis de impulso-respuesta (Naka y Tufte, 1997) el cual utiliza el procedimiento de Cholesky con dos desviaciones alrededor de la estimación puntual para poder saber la significancia estadística de los *shocks* en el sistema como se demuestra en la Gráfica 3.10.

Gráfica 3.10

Análisis de impulso-respuesta entre el consumo nacional de energía y el ingreso

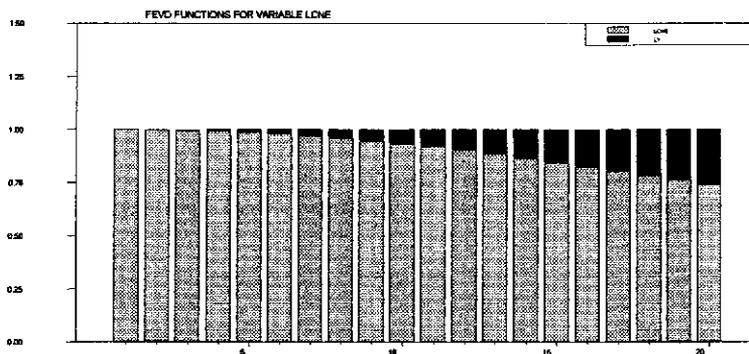


Los resultados de los impulsos señalan que ante un *shock* en el consumo de energía nacional este ocasionará un efecto positivo sobre el ingreso y sobre el mismo consumo nacional. Lo mismo sucede cuando hay un *shock* sobre el ingreso en donde también se presentará en efecto positivo sobre el mismo y sobre el consumo de energía en los siguientes periodos, lo cual confirma que el consumo de energía depende en primer lugar de los efectos que existan en el ingreso debido a la relación de causalidad existente entre ambas series.

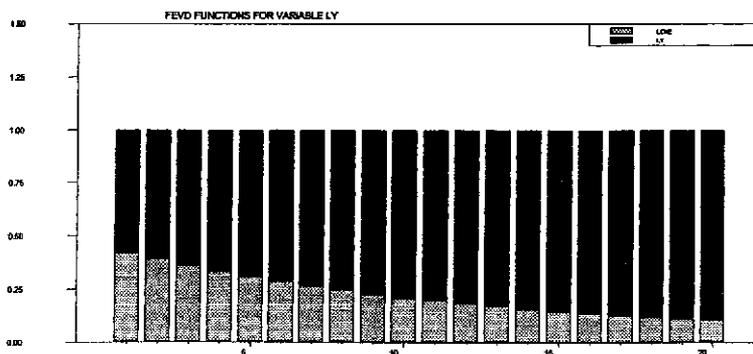
En el caso del análisis de descomposición de varianza, se muestra en las siguientes gráficas, que el consumo de energía y el ingreso tienen una fuerte relación de causalidad en los siguientes periodos, ya que los resultados señalan que mediante un *shock* de una desviación estándar el resultado para los siguientes veinte periodos el consumo de energía (Gráfica 3.11) se explica fundamentalmente de sus propias innovaciones o cambios (74%); en cambio en el caso del ingreso (Gráfica 3.12), este

también depende de sus propias innovaciones (90%) seguido del restante porcentaje del consumo de energía (ver los porcentajes del análisis en los Cuadros AII.4 y AII.5 en el Anexo II).

Gráfica 3.11
Descomposición de varianza para el consumo nacional de energía (%)



Gráfica 3.12
Descomposición de varianza para el ingreso (%)



Por ende, los resultados encontrados hasta ahora para el consumo nacional de energía de México mencionan que existe una relación muy estrecha con el ingreso, en donde existen relaciones bidireccionales que pueden modificar el comportamiento de la economía y de varias variables macroeconómicas en los siguientes años.

3.4.2 Consumo de energía por sectores: agropecuario, industrial, residencial y transporte

Debido a la importancia del consumo de energía nacional es además importante conocer cual ha sido el comportamiento del consumo de energía en los sectores más importantes de la economía mexicana destacándose por ser grandes consumidores de diversos tipos de energéticos principalmente en lo referente al los hidrocarburos y últimamente al gas natural que es utilizado para generar electricidad. Por lo tanto, siguiendo la metodología anteriormente utilizada para la construcción del modelo de consumo nacional se estimarán modelos para determinar el consumo de energía para los sectores agropecuario, industrial, residencial y de transporte.

Para obtener los modelos se utilizará la misma especificación de la ecuación de demanda (ecuación (3.10)) como fue el caso de la estimación a nivel nacional. Es decir, el consumo de energía del sector respectivo estará en función del ingreso, que para el caso del consumo agropecuario e industrial de energía se utilizará el producto agropecuario y el producto industrial respectivamente, además de los precios relativos de la energía.

Como se puede ver en el cuadro de las pruebas de raíces unitarias (Cuadro AII.1 en el Anexo II) el consumo de energía para cada sector son series no estacionarias de orden de integración $I(1)$, así como el producto nacional, agropecuario e industrial que también son series que deben ser diferenciadas una vez para ser estacionarias, los precios relativos de la energía también son de orden de integración $I(1)$ como ya se ha mencionado.

Teniendo en cuenta el orden de integración de cada variable, el número de rezagos especificados y las pruebas de mala especificación (Cuadro AII.3 en el Anexo II) sobre los VARs y la ausencia de cambio estructural que afecte el comportamiento de las series, se procederá a realizar el procedimiento de Johansen (1998) para encontrar vectores de cointegración y en consecuencia relaciones de largo plazo. Los resultados son los siguientes:

Cuadro 3.6

Pruebas de cointegración basadas en el procedimiento de Johansen del consumo de energía por sectores

$$ec_{it} = \beta_1^* y_{it} + \beta_2^* pre_t$$

	cea _t		cei _t		cer _t		cet _t	
	Traza	95%	Traza	95%	Traza	95%	Traza	95%
r = 0	30.11*	24.3	48.5*	24.3	69.56*	24.3	75.04*	24.3
r ≤ 1	3.257	12.5	6.491	12.5	12.84*	12.5	12.02	12.5
r ≤ 2	0.000	3.8	1.117	3.8	1.596	3.8	0.703	3.8

Notas: (*) Indica rechazo al 5% de nivel de significancia. Traza = prueba de la traza. r = número de vectores de cointegración. Número de rezagos en el cada VAR = 1. Período 1966 - 2002.

Los resultados presentan que en todos los casos, con excepción del consumo de energía residencial, existe al menos un vector de cointegración como lo reportan las pruebas de la traza. Tomando en cuenta al primer vector de cointegración de cada sector y normalizándolos encontramos las siguientes relaciones de largo plazo (Cuadro 3.7):

Cuadro 3.7

Ecuaciones normalizadas del consumo de energía por sectores

$$ec_{it} = \beta_1^* y_{it} + \beta_2^* pre_t$$

	cea _t	cei _t	cer _t	cet _t
β ₁	0.452	0.565	0.518	0.548
β ₂	-0.108	-0.288	-0.283	-0.421

Notas: Las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Período 1966 - 2002.

Las ecuaciones normalizadas señalan que existe una elasticidad ingreso positiva con respecto al ingreso y una elasticidad negativa con respecto a los precios relativos que en la mayoría de los casos son cercanos a -0.2, a diferencia del consumo de energía del sector transporte el cual muestra una elasticidad precio más alta que las anteriores ecuaciones.

Las pruebas de exogeneidad débil sobre los parámetros (Cuadro 3.8) señalan que para cada uno de los sectores los precios relativos de la energía son exógenos débiles lo cual indica que tienen un menor efecto en el largo plazo si se utilizan como instrumento de política energética.

Cuadro 3.8
Pruebas de exogeneidad débil

	cea_t	cei_t	cef_t	cet_t
α_0	$\chi^2(1) = 10.081 [0.001]$	$\chi^2(1) = 26.155 [0.000]$	$\chi^2(2) = 46.270 [0.000]$	$\chi^2(1) = 49.999 [0.000]$
α_1	$\chi^2(1) = 16.189 [0.000]$	$\chi^2(1) = 20.556 [0.000]$	$\chi^2(2) = 37.592 [0.000]$	$\chi^2(1) = 45.311 [0.000]$
α_2	$\chi^2(1) = 0.000 [0.998]^*$	$\chi^2(1) = 0.083 [0.772]^*$	$\chi^2(2) = 4.113 [0.128]^*$	$\chi^2(1) = 0.255 [0.613]^*$

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de nivel de significancia. $H_0: \alpha = 0$. (α_0 esta relacionado con el consumo de energía de cada sector, α_1 está relacionado con el producto respectivo y α_2 esta relacionado con los precios relativos de la energía). Período 1966-2002.

En consecuencia, tomando en cuenta la anterior prueba sobre los parámetros se omitirán los precios relativos de la energía en la especificación de las relaciones de largo plazo como sucedió en el modelo nacional. Dichas estimaciones mediante el procedimiento de Johansen (1988) se muestran en el Cuadro 3.9 en donde se observa que en todos los sectores las series cointegran y que existe al menos un vector de cointegración para cada caso, lo cual hace que no existan soluciones múltiples en el sistema. Además se puede ver que el VAR está correctamente especificado ya que en general no existen problemas de normalidad en los errores, sólo en el caso del consumo de energía industrial; además tampoco existe autocorrelación ni heterocedasticidad en todos los sectores a analizar (ver Cuadro AII.3 en el Anexo II).

Cuadro 3.9

Pruebas de cointegración basadas en el procedimiento de Johansen del consumo de energía por sectores (sin precios relativos de la energía)

$$ec_{it} = \beta_1 * y_{it}$$

	cea _t		cei _t		cer _t		cet _t	
	Traza	95%	Traza	95%	Traza	95%	Traza	95%
r = 0	26.17*	12.5	36.45*	12.5	52.14*	12.5	54.58*	12.5
r ≤ 1	1.851	3.8	1.987	3.8	1.88	3.8	2.725	3.8

Notas: (*) Indica rechazo al 5% de nivel de significancia. Traza = prueba de la traza. r = número de vectores de cointegración. Número de rezagos en el VAR = 1. Período 1966-2002.

Normalizando los vectores de cointegración podemos encontrar las relaciones de largo plazo siguientes para el consumo de energía de cada sector (Cuadro 3.10). Estas ecuaciones normalizadas presentan una elasticidad ingreso menor que la unidad cercana al 0.5 lo cual indica que en el largo plazo el comportamiento del consumo de energía en cada sector depende fundamentalmente del ingreso.

Cuadro 3.10

Ecuaciones normalizadas del consumo de energía nacional y por sectores (sin precios relativos de la energía)

$$ec_{it} = \beta_1 * y_{it}$$

	cea _t	cei _t	cer _t	cet _t
β ₁	0.447	0.570	0.499	0.542

Notas: Las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Período 1966 - 2002.

Tomando cada uno de los vectores normalizados podemos crear también mecanismos de corrección de errores para corregir los desequilibrios de largo plazo en las ecuaciones de corto plazo, los modelos finales incluyendo a los precios de la energía, para saber si son estadísticamente significativos y contribuyen a explicar al consumo de energía de cada uno de los sectores que se están analizando se presentan en el Cuadro 3.11.

Cuadro 3.11.

Modelos econométricos finales del consumo de energía por sectores

Variable	Δcea_t	Δcei_t	Δcer_t	Δcet_t
Δcea_{t-1}	0.254 (2.358)			
Δcer_{t-2}			0.206 (1.901)	
Δy_t			0.303 (-3.488)	0.864 (7.831)
Δpre_t	-0.230 (-3.309)	-0.215 (-3.025)		-0.080 (-1.947)
ecm_{t-1}	-0.038 (-3.500)	-0.136 (-7.491)	-0.024 (-2.277)	-0.022 (-2.921)
d83	-0.120 (-4.891)			-0.052 (-3.609)
d89	-0.119 (-3.392)			
d99		-0.090 (-2.474)	-0.099 (-5.714)	
Pruebas de Diagnostico				
R^2	0.667	0.509	0.665	0.847
J-B	1.248 (0.535)	0.335 (0.845)	3.965 (0.137)	1.111 (0.573)
LM (2)	F: 0.544 (0.586)	F: 1.148 (0.329)	F: 0.551 (0.582)	F: 0.119 (0.888)
ARCH (2)	F: 0.548 (0.583)	F: 0.232 (0.794)	F: 0.258 (0.773)	F: 0.093 (0.911)
RMSE	0.031	0.035	0.016	0.018

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. Los mecanismo de corrección de error que se utilizaron son los siguientes: $ecmcea = cea - 0.447*yag$, $ecmcei = cei - 0.570*yin$, $ecmcer = cer - 0.499*y$ y $ecmcet = cet - 0.542*y$. d83, d89 y d99 son variables dummy para los años 1983, 1989 y 1999 respectivamente. 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 t-estadístico. Las letras en minúsculas representan el logaritmo natural de las series. Periodo 1966 – 2002.

En estos modelos finales se muestra que existe un buen ajuste siendo los coeficientes de determinación (R^2) mayores a 0.5. Además las pruebas de diagnóstico señalan que existe normalidad entre los términos de error, no hay problemas de autocorrelación y heterocedasticidad, además de que el error cuadrático medio es muy bajo lo cual indica que los modelos sirven para efecto de pronósticos. En lo referente a los resultados de los coeficientes, la elasticidad ingreso tiene mayor peso en la determinación de la demanda de energía en el caso de los sectores residencial y de transporte.

En el caso de los demás sectores dicha demanda en el corto plazo depende de los precios relativos que en promedio tienen una elasticidad de -0.2 aunque este efecto sigue siendo muy pequeño y marginal. Esto indica que los precios deben de ir

acompañados con otras medidas sugeridas por una política energética para poder controlar el consumo de energía en estos sectores y en consecuencia a nivel nacional en los siguientes años.

3.4.3 Pronósticos para el consumo de energía nacional y por sectores

Para poder realizar los pronósticos del consumo de energía nacional y por sectores utilizando los anteriores modelos se analizará el comportamiento que tendrán las principales variables macroeconómicas en los siguientes años mediante los pronósticos realizados por importantes instituciones tanto nacionales como internacionales en los siguientes cuadros (Cuadro 3.12 y 3.13), los pronósticos de crecimiento del producto interno bruto y de la inflación de 2004 a 2010. Se escogieron estas variables macroeconómicas debido a que son las que afectan directamente el comportamiento del consumo de energía.

Cuadro 3.12

Pronóstico de la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto real para México: 2004 – 2010

Año	CIDE	BANAMEX	OECD	Instituto Klein	Economist Intelligence Unit
2004	0.90	1.90	4.04	4.40	3.00
2005	1.18	2.60	4.81	4.80	3.00
2006	4.04	2.60	4.62	5.00	3.30
2007	3.41	2.50	4.54		3.60
2008	3.54	2.70	4.53		3.50
2009	3.80	2.80			
2010	4.00	2.70			

Nota: Estos pronósticos fueron obtenidos de la página Web de cada institución.

Cuadro 3.13
Pronóstico de la Inflación para México: 2004 – 2010

Año	CIDE	BANAMEX	Instituto Klein	Economist Intelligence Unit
2004	3.72	4.40	2.80	3.80
2005	3.60	3.90	2.80	3.10
2006	3.80	3.60	2.60	1.60
2007	3.50	3.50		1.80
2008	3.30	3.30		1.30
2009		3.30		
2010		3.20		

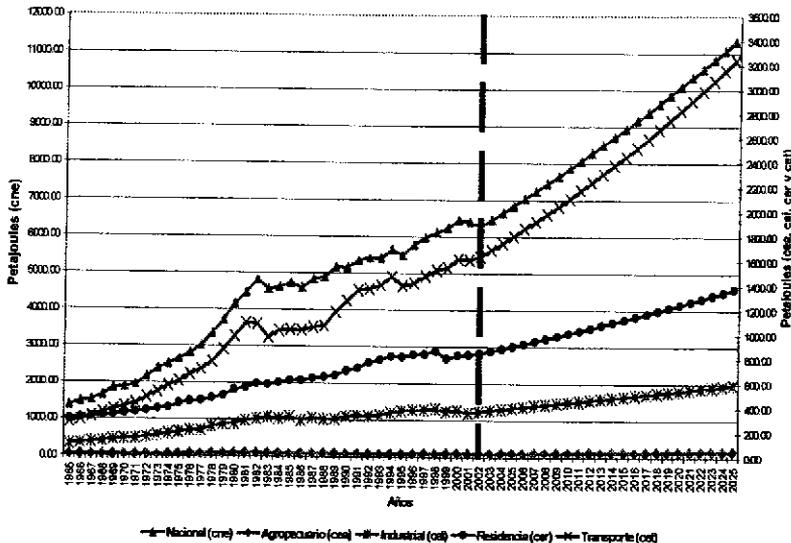
Nota: Estos pronósticos fueron obtenidos de la página Web de cada institución.

Los pronósticos presentados para el caso del Producto Interno Bruto señalan que el crecimiento de la economía en los siguientes siete años será entre el 3 y 4% aproximadamente lo cual indica que la economía mexicana tendrá un crecimiento moderado y sostenido. Por otro lado, en el caso de la inflación los pronósticos indican que los precios tendrán, con el paso de los años, una ligerísima disminución, pero en general se mantendrán constantes en los siguientes años, esto indica que el Banco de México seguirá aplicando una política monetaria un poco restrictiva para seguir llevando el control de la inflación.

Por lo tanto para poder realizar los escenarios del comportamiento de la demanda de energía nacional y por sectores se considerará una tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto de 3%, así como mantener los precios relativos de los energéticos fijos teniendo en cuenta que el nivel de inflación se mantendrá con una tendencia constante y/o ligeramente a la baja en los siguientes años. Los pronósticos de las demandas de energía para los próximos 20 años se presentan a continuación³⁴.

³⁴ Ver Cuadro AII.6 en el Anexo II el cual muestra los valores pronosticados de las demandas de energía tanto nacional como por sectores.

Gráfica 3.13
 Demanda de energía nacional y por sectores 1965-2025
 Escenario de crecimiento del ingreso real de tres por ciento



Fuente: Datos de 1965 – 2002: Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía. Datos de 2003 – 2005: Elaboración propia con los modelos estimados para este trabajo de investigación.

Los pronósticos obtenidos de las ecuaciones anteriores presentados señalan que el consumo nacional y por sectores de energía presentan una tendencia a incrementarse constantemente con el escenario de tres por ciento de crecimiento de la economía mexicana, esto se explica debido a que las trayectorias del producto y de la energía tienden a moverse juntas. Esto tiene algunas implicaciones, debido a que si se presentara una disminución en el consumo de energía nacional o en un determinado sector, el crecimiento del producto va a disminuir tendiendo efectos negativos sobre algunas variables macroeconómicas y sobre el medio ambiente ya que el uso de energía sin aplicar innovaciones tecnológicas aumenta la cantidad de GEI empeorando la situación actual y la de los siguientes años.

3.5 Conclusiones

La relación entre el consumo de energía, el producto nacional y los precios de la energía se ha convertido en un tema de gran interés desde finales de los años setenta hasta nuestros días. La evidencia empírica internacional ha sido un poco extensa en referencia a los países industrializados y a los países en transición, en donde se han encontrado diversos resultados los cuales dependen fundamentalmente de las bases de datos utilizadas y de las técnicas estadísticas y econométricas que se han empleado en sus investigaciones. Los resultados en general para estos países señalan que existen relaciones causales tanto en un sentido como bidireccionales entre el consumo de energía y el producto nacional. En el caso mexicano la evidencia empírica ha sido escasa destacando sólo algunos artículos en donde también se encuentra una estrecha relación entre la energía y el producto tanto nacional como por sectores económicos.

El modelo de consumo de energía se puede modelar como una función de demanda tradicional que depende de los cambios en el ingreso y en los precios del bien a analizar. En los últimos 30 años se han desarrollado técnicas estadísticas y econométricas las cuales han favorecido para poder especificar de la manera más correcta un modelo de demanda de energía como es el caso de los procedimientos de cointegración de Johansen (1988) y Hansen y Johansen (1993), las pruebas de exogeneidad débil, los modelos de corrección de errores, entre otros.

Los resultados obtenidos en este trabajo señalan que para las ecuaciones de consumo de energía nacional y por sectores los precios relativos de la energía son exógenos débiles las cuales no son significativos en las relaciones de largo plazo. Por lo tanto las elasticidades ingreso son positivas y en promedio reportan valores menores a la unidad cercanos a una elasticidad de 0.6, 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 nacional y por sectores está determinado por los cambios que se presenten en el producto con excepción del sector industrial y agropecuario que en el corto plazo están determinados por los precios relativos

aunque con elasticidades precio muy bajas las cuales tienen un efecto breve para poder controlar el consumo de energía en esos sectores. Las pruebas de causalidad de Granger indican que existen relaciones en ambas direcciones entre la energía y el producto lo cual ratifica que siguen manteniendo las mismas trayectorias.

En cuanto a los pronósticos tanto nacional como por sectores, bajo los supuestos de crecimiento de la economía de 3% para los siguientes años y un comportamiento constante en los precios de la energía que no ejerzan presión sobre el índice de precios al consumidor, éstos señalan que de mantenerse esos supuestos y sin innovación tecnológica tanto en la maquinaria y equipo y en la sustitución o mejoramiento de los energéticos el consumo de energía seguirá incrementándose gravemente lo cual tiene efectos nocivos sobre la economía mexicana y el medio ambiente para los siguientes años que ocasionaría que el país continúe dependiendo de grandes cantidades de energía para poder crecer y no contribuir en la reducción las emisiones de gases, aunque aún no tenga una meta de disminución de gases invernadero debido a las precarias condiciones de su infraestructura energética en la producción de hidrocarburos y electricidad.

Por lo tanto, el país debe innovar su estructura energética mediante inversiones que apoyen a modernizar la infraestructura de PEMEX y la CFE e impulsen la investigación para mejorar la calidad de los energéticos tratando retomar su importante participación en el mercado mundial de los energéticos, así como aplicar normas más estrictas en el uso de los energéticos tratando de evitar el aumento de las emisiones a la atmósfera, aplicando impuestos ecológicos que ayuden a financiar proyectos para la conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO IV

EMISIONES DE GEI POR USO DE ENERGÉTICOS EN MÉXICO

4.1 Introducción

Recientemente, con el Protocolo de Kioto algunos países han acordado reducir sus emisiones de gases invernadero. Por lo tanto, para poder llevar a cabo esto se debe intervenir sobre el sector energético, en el caso particular los combustibles fósiles, ya que son el principal generador de este tipo de gases debido a las condiciones en que son extraídos y transformados en otros tipos de energéticos (OCDE, 2003 y Galindo y Aroche, 2000). Es así que el sector energético es el mayor emisor de gases efecto invernadero sobre el medio ambiente causante del calentamiento global de la tierra que ha generado diversas circunstancias desfavorables a la calidad de vida de los individuos y de los ecosistemas.

Por lo tanto, en México, las emisiones de gases se han incrementado en los últimos años y están relacionadas al uso constante y exagerado de energía y su efecto sobre el ingreso nacional y/o per cápita. La innovación tecnológica ha tenido un efecto importante en los resultados de algunos países industrializados y en transición.

En este último capítulo se analiza el comportamiento de los GEI en México, así como el cálculo de los coeficientes de cambio los cuales nos señalan las trayectorias que han registrado como es el caso de bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (NO_x) que tienen una mayor cantidad de toneladas dispersas en el aire con el consumo de energía y el producto de 1996 a 2000; también se realizan pronósticos acerca de los comportamiento de estos gases en un determinado escenario de crecimiento de la economía mexicana para los siguientes años; y finalmente algunas consideraciones acerca de las medidas que existen y que pueden implementarse para disminuir la cantidad de emisiones contaminantes en México y contribuir al mejoramiento de la calidad del aire.

4.2 Comportamiento de los GEI 1990-2000: el caso mexicano

La evidencia empírica ha determinado que las emisiones de GEI y en consecuencia la calidad del aire tienen una relación importante con respecto a los cambios estructurales en las series económicas, el perfeccionamiento tecnológico, el incremento del gasto público, el uso de la energía y el crecimiento económico mediante del producto nacional y/o el producto per cápita en algunos países (Dinda, Coondoo y Pal, 2000).

Para modelar estas relaciones se han utilizado diversas técnicas estadísticas y econométricas basadas en diversas teorías económicas. Los principales modelos econométricos que se han realizado han sido como el Modelo Mundial de Energía el cual realiza estimaciones econométricas para cinco grupos de países relacionando actividades económicas con el consumo de energía y los precios de la energía, además de hacer programación lineal sobre módulos como la innovación tecnológica y un módulo para la oferta de combustibles fósiles (IEA, 2001).

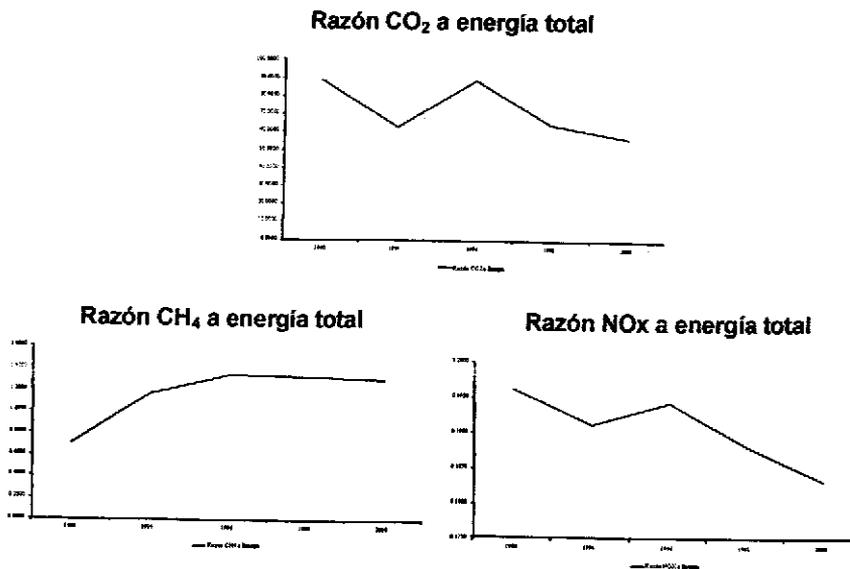
Existen también los modelos de la curva de Kuznets invertida ambiental como los que relacionan las emisiones y/o degradación ambiental con el producto mediante una relación inversa en forma de U-invertida (Dinda, Coondoo y Pal, 2000). Además se han construido modelos que calculan la tasa de crecimiento del producto que una economía debe registrar en los siguientes años para poder disminuir la cantidad de emisiones principalmente del bióxido de carbono (Sun, 2002 y Bode, 2004).

Las emisiones de los GEI a la atmósfera básicamente pueden relacionarse con el comportamiento de las trayectorias de la energía y el producto. Esto puede ser representado mediante la siguiente igualdad (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997):

$$(4.1) \quad EM_k = \frac{EM_k}{E_k} \frac{E_t}{y_t} y_t$$

En esta igualdad (ecuación (4.1)), EM_{it} representa las emisiones de GEI, E_t se relaciona con el consumo total de energía y Y_t representa al producto interno bruto, en esta igualdad en donde se refleja la composición de las variables involucradas. Por lo tanto, el comportamiento de las emisiones GEI a energía total y producto y la intensidad energética se muestran las Gráficas 4.1 y 4.2.

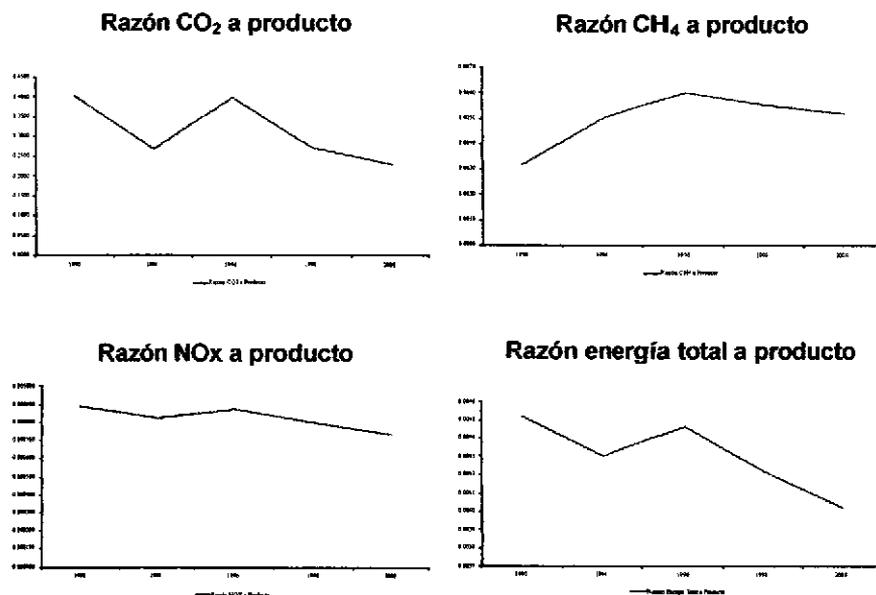
Gráfica 4.1
Emisiones GEI a energía total 1990 – 2000



Fuente: Inventario de Emisiones a la Atmósfera 2000, Secretaría de Medio Ambiente.

Gráfica 4.2

Emisiones GEI a producto e intensidad energética (energía total / producto)
1990 – 2000



Fuente: inventario de Emisiones a la Atmósfera 2000, Secretaría de Medio Ambiente.

En la Gráfica 4.1 se observa que las emisiones de CO₂ y NO_x relacionadas con la energía total tienen un comportamiento descendente durante todo el período analizado. En cambio en el caso de las emisiones de metano (CH₄) a energía total se presenta un incremento de 1990 a 1996; después de este año se estabilizan las emisiones de este gas.

En el caso de la Gráfica 4.2 se puede observar que en el caso de las proporciones de emisiones de estos tres gases a producto existe un incremento en 1996, y posteriormente se presenta una tendencia a disminuir. En el caso de la relación energía a producto su comportamiento disminuyó de 1990 a 1994 para posteriormente aumentar en 1996 alcanzando nuevamente los niveles de principios

de la década de los noventa, posteriormente de 1996 la intensidad energética comenzó a disminuir. Ello debido a algunos cambios en la composición del sector energético y productivo utilizando menos energía para producir una unidad de producto.

En general estas trayectorias señalan que existe un proceso de reducción de las emisiones de gases invernadero a energía y a producto confirmado con la disminución de la razón de energía a producto. En consecuencia estos resultados sugieren que existe un proceso de desacoplamiento de las emisiones al producto y a la energía a las emisiones. Es así que puede confirmarse el argumento de que las emisiones de gases por unidad de energía han estado disminuyendo del período de 1981 hasta 1998 (México 2ª Comunicación, 2001).

4.3 Cálculo de los coeficientes de cambio

Asimismo, se puede hacer el supuesto de que el comportamiento de las emisiones corresponde, por un lado, a la hipótesis de Linder, la que supone que la oferta sigue a la demanda y está asociada a una determinada fase del crecimiento económico (Galindo y Aroche, 2000). Es decir, un aumento de la demanda asociado al nivel de desarrollo correspondiente se traduce en un cambio en la composición del producto ocasionando modificaciones en la intensidad energética, en las emisiones y en el comportamiento de la innovación tecnológica. Por otro lado, se enfatiza el incremento de la eficiencia energética y la reducción de las emisiones consecuencia actual de la estructura energética y la innovación tecnológica. Las relaciones entre emisiones a energía y a producto pueden representarse mediante la ecuación (4.2) la cual ha sido utilizada en las investigaciones de Mabey, Hall, Taylor y Gupta (1997) y Galindo y Aroche (2000) para el caso de México.

$$(4.2) \quad EM_{t+1} - EM_t = \alpha_{0t}(X_{t+1} - X_t) + X_{t+1}(\alpha_{1t+1} - \alpha_{0t})$$

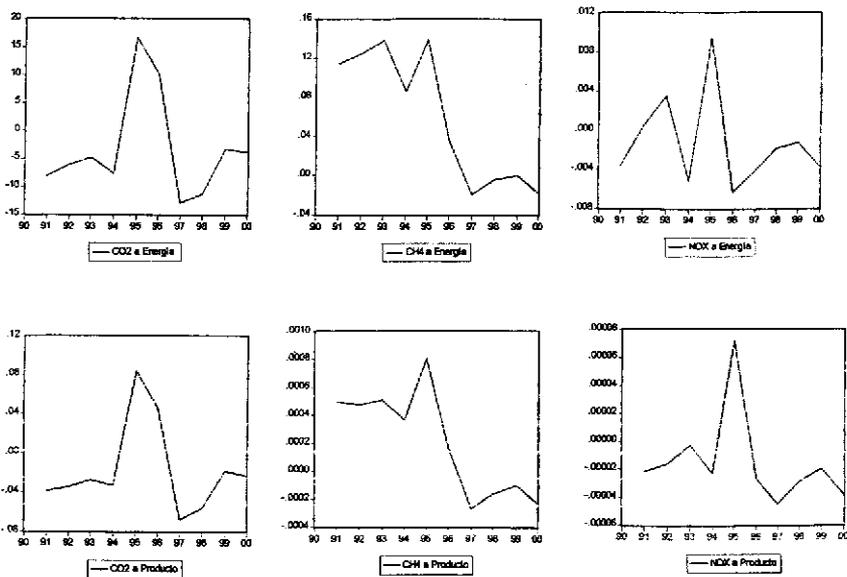
La ecuación (4.2) señala que EM_{t+1} y EM_t son las emisiones GEI (en este caso CO_2 , CH_4 y NOX) para los periodos $t+1$ y t , X_{it} representa el consumo total de energía y de producto respectivamente; α_{0t} es el coeficiente que relaciona a las emisiones GEI con un determinado nivel de energía y de producto en el tiempo t respectivamente; α_1 es un coeficiente que asocia las emisiones al nivel de energía y de producto en el tiempo $t+1$.

El primer término representa el incremento en las emisiones entre el periodo t y $t+1$ manteniendo constante al coeficiente de emisiones a energía o producto. En lo referente al segundo término, éste representa las emisiones en el periodo $t+1$ ocasionadas por los cambios en el coeficiente de emisiones. En consecuencia si una economía se hace más eficiente en la relación entre emisiones de gases invernadero y energía el valor de este término debe ser negativo.

Realizando los anteriores cálculos para obtener los coeficientes de cambio, los resultados de las relaciones de las emisiones de GEI a energía total y a producto se presentan en la Gráfica 4.3 y en los Cuadros 4.1 y 4.2. Se encontró que a partir de 1996 la tendencia de las emisiones de gases invernadero a energía total y a producto se han estado reduciendo significativamente teniendo un promedio negativo en el bióxido de carbono y el óxido nitroso. En comparación con el metano que no tiene una tendencia bien definida en los últimos años por lo que la reducción en promedio de las emisiones durante el periodo de análisis es cero. Este comportamiento a la baja en las trayectorias de emisiones con relación a las otras dos variables puede deberse a la innovación tecnológica que se está dando en el país desde esa fecha.

Gráfica 4.3

Coefficientes de cambio de emisiones GEI a energía total y a producto ($\alpha_1 - \alpha_0$)
1990 - 2000



Fuente: Elaboración propia con coeficientes estimados con la ecuación (4.2).

Cuadro 4.1

Coefficientes de cambio de emisiones GEI a energía 1990 – 2000

Año	$\alpha_1 - \alpha_0$ (CO ₂)	$\alpha_1 - \alpha_0$ (CH ₄)	$\alpha_1 - \alpha_0$ (NOx)
1990	-8.080909	0.114087	-0.003583
1991	-6.094168	0.124908	0.000404
1992	-4.824781	0.138568	0.003491
1993	-7.697338	0.085651	-0.005253
1994	16.579321	0.138780	0.009430
1995	10.086664	0.034346	-0.006322
1996	-12.968613	-0.019546	-0.004177
1997	-11.453094	-0.004560	-0.001946
1998	-3.361771	-0.000224	-0.001313
1999	-4.016130	-0.017967	-0.003766
2000	-8.080909	0.114087	-0.003583
Promedio	-3.628339	0.064375	-0.001510

Notas: Coeficientes obtenidos de la ecuación (4.2).

Cuadro 4.2

Coefficientes de cambio de emisiones GEI a producto 1990 – 2000

Año	$\alpha_1 - \alpha_0$ (CO ₂)	$\alpha_1 - \alpha_0$ (CH ₄)	$\alpha_1 - \alpha_0$ (NOx)
1990	-0.038913	0.000491	-0.000022
1991	-0.034297	0.000473	-0.000016
1992	-0.027721	0.000509	-0.000003
1993	-0.033398	0.000364	-0.000023
1994	0.083819	0.000804	0.000072
1995	0.045640	0.000163	-0.000027
1996	-0.068355	-0.000269	-0.000045
1997	-0.056589	-0.000163	-0.000029
1998	-0.018882	-0.000102	-0.000020
1999	-0.023664	-0.000234	-0.000038
2000	-0.038913	0.000491	-0.000022
Promedio	-0.019207	0.000230	-0.000016

Notas: Coeficientes obtenidos de la ecuación (4.2).

4.4 Simulaciones de los GEI: 2001-2025

Los resultados encontrados hasta ahora muestran que el comportamiento en la reducción de los gases invernadero con respecto al uso de la energía total y al crecimiento económico mediante el producto, es muy clara en el caso de algunas emisiones de gases. Entonces con la información anteriormente utilizada podrá ser aplicada para reconocer los parámetros de las emisiones de gases y en seguida evaluar diversas políticas alternativas y pronosticar comportamientos futuros.

Esto es, en la ecuación (4.3) la energía total va tener asociado el coeficiente de emisiones de 2000 (Inventario de Emisiones a la Atmósfera, 2000); lo mismo sucederá con la ecuación (4.4) que relaciona a las emisiones GEI del año 2000 con el producto utilizando nuevamente el último valor de las emisiones del mismo inventario.

$$(4.3) \quad \Delta EM_{it} = \alpha_{0t} \Delta E_t + E_{it+1} (\alpha_{1t+1} - \alpha_{0t})$$

$$(4.4) \quad \Delta EM_{it} = \alpha_{0t} \Delta Y_t + Y_{it+1} (\alpha_{1t+1} - \alpha_{0t})$$

Con la ayuda de estas ecuaciones se pueden realizar algunos pronósticos acerca de los probables comportamientos de las emisiones de gases en el país para los siguientes veinticuatro años. Por lo tanto se definirá un escenario base en donde se tomará en cuenta un crecimiento de la economía mexicana para los próximos años del 3% y tomando en cuenta este crecimiento del producto se espera que no haya innovación tecnológica. Entonces, los resultados de estas estimaciones se presentan en el Cuadro 4.3 y en la Gráfica 4.4 que suponen constantes los coeficientes de relación de las emisiones de GEI (CO₂, CH₄ y NO_x) con la energía total y con el producto.

Cuadro 4.3

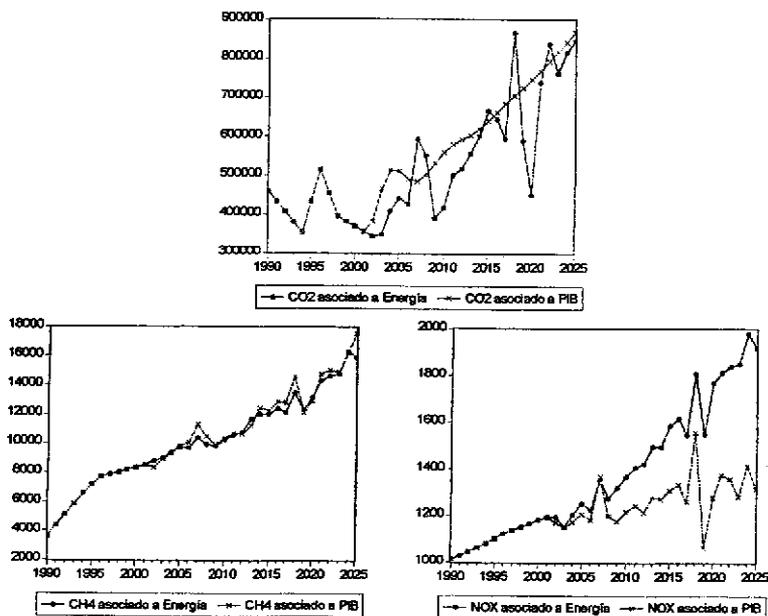
Coefficientes de relación de emisiones GEI a energía y producto

	CO ₂	CH ₄	NO _x
Producto	0.22980	0.00522	0.00073
Energía	57.15443	1.29961	0.18321

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.4

Emisiones de GEI asociadas a energía y producto 1990 – 2025
(Crecimiento de 3 por ciento sin innovación tecnológica)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados revelan que, de no existir innovación tecnológica, las emisiones demostrarán un crecimiento continuo en los próximos 24 años como se muestra en el caso del CH₄ en donde su relación con la energía y el producto es similar pero seguirá incrementándose. En el caso de las otras dos emisiones de gases (CO₂ y NO_x) se presentan trayectorias ascendentes pero con una oscilación más pronunciada principalmente en el año 2020 en donde al parecer se presentará un cambio muy importante en las trayectorias. Sin embargo, después de este año las tendencias de las relaciones seguirán extendiéndose peligrosamente. Como resultado principal tenemos que si no se presenta un cambio favorable en la composición del sector energético, del producto y en consecuencia de la intensidad energética, así como de un avance en incorporar nuevas tecnologías el incremento en las emisiones de los gases seguirá creciendo desproporcionadamente.

4.5 Conclusiones

En la actualidad, la relación entre las emisiones de gases invernadero con el sector energético y el comportamiento del producto ha logrado bastante interés por parte de diversos países e investigadores. En consecuencia se han estado buscando evidencia empírica, mediante herramientas estadísticas y econométricas, que permita conocer el impacto de las emisiones ante un cambio en el crecimiento económico mediante el producto y la energía, destacando el uso de combustibles fósiles, que son los generadores de grandes cantidades de GEI.

Las emisiones de bióxido de carbono y óxido nitroso para el caso de México han estado disminuyendo en comparación del metano, además la intensidad energética ha estado reduciéndose también, lo cual señala que en la década de los noventa la innovación tecnológica haya logrado disminuir dos de las emisiones más importantes en el mundo (el CO₂ y el NO_x). Estos resultados fueron contrastados con dos ecuaciones, una para la energía total y otra para el producto, que pronosticaron el comportamiento de los GEI estudiados en los siguientes veinticuatro años mediante un supuesto crecimiento del 3% y sin innovación tecnológica importante en los procesos productivos principalmente. En consecuencia los efectos calculados para

los siguientes años sobre el medio ambiente presentarán un aumento incontrolable de las emisiones.

Por lo tanto, el punto relevante de este capítulo es que las innovaciones tecnológicas impulsadas por la investigación y desarrollo mediante los MDL jugarán un papel relevante en las reducciones de los gases invernadero en los siguientes años. Estas innovaciones servirán para mejorar el desempeño del sector energético, principalmente con la quema de combustibles fósiles. Además de mejorar las actividades productivas junto con medidas impulsadas por el estado como son los impuestos por contaminar. Esto impulsará el crecimiento de la economía en el futuro favoreciendo las condiciones de vida de la sociedad mexicana y de su medio ambiente.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

La energía en sus diferentes formas y tipos se ha convertido en un elemento fundamental para el desempeño de las diversas actividades humanas y de algunos otros seres vivos. La relación entre el consumo de la energía y algunas otras variables macroeconómicas ha sido un factor determinante en el desarrollo económico mundial desde la revolución industrial hasta la actualidad. La compra-venta de petróleo se ha convertido en un elemento clave para el desempeño de diversas economías tanto productoras como consumidoras de petróleo principalmente, debido a que son afectadas mediante la variación de los precios del petróleo ocasionando en algunos casos altas tasas de crecimiento económico y en otros casos se pueden presentar sucesos como las crisis petroleras que han afectado el crecimiento de la economía mundial. Actualmente la demanda de combustibles fósiles en el mundo se ha acelerado bastante debido al aumento en el uso de hidrocarburos por parte de Estados Unidos y de países como China e India con crecimientos de ocho y seis por ciento anual respectivamente (Villarreal, 2005).

También es importante señalar que debido al uso constante y a veces exagerado de los energéticos se han provocado problemas ambientales como es el caso del aumento en la cantidad de GEI en la atmósfera ocasionando el llamado cambio climático que afecta el desempeño ambiental y genera incertidumbre para los siguientes años. Por lo tanto, se han realizado reuniones mundiales para tratar el tema del medio ambiente y se han propuesto diferentes soluciones como los MDL, impuestos ecológicos, reestructuración del sector energético y de la composición del producto nacional, entre otras, que podrían favorecer a los países para emitir la menor cantidad de toneladas de GEI en los siguientes años.

Existen diversas investigaciones sobre el consumo de energía en distintos países principalmente industrializados o en transición las cuales han empleado diversas metodologías econométricas para poder determinar la relación que existe con el producto nacional, los precios de la energía, la inversión, el empleo, etc., en el caso mexicano existen muy pocas investigaciones acerca de este tema.

Es así que en México, el consumo de energía ha tenido una tendencia ascendente hasta la fecha la cual tiene una trayectoria en paralelo con el producto interno bruto registrando una alta correlación entre estas variables. Asimismo la intensidad energética no presenta una tendencia bien definida durante los años estudiados lo cual señala que hay que desacoplar las trayectorias entre estas variables.

Dicho lo anterior, se realizaron algunos modelos econométricos de la demanda de energía nacional y por sectores y sus relaciones con la emisión de GEI así como pronósticos para dichos modelos en donde se concluyó lo siguiente:

- (1) Existen relaciones de largo plazo entre el consumo de energía y el producto nacional en donde no existe cambio estructural en el comportamiento de las series que afecte el comportamiento de los modelos y de los pronósticos; además se destaca que los precios relativos de la energía son una variable exógena y por lo tanto no es relevante en esta relación. Por lo cual el consumo energético tanto nacional como en los diferentes sectores depende básicamente de la elasticidad ingreso.
- (2) En la relación de corto plazo los precios relativos son relevantes tanto a nivel nacional como en los sectores agropecuario e industrial los cuales reportan una elasticidad precio negativa cercana al -0.2 lo cual indica que los efectos para controlar el consumo energético solo son efectivos en un período muy corto de tiempo. Por lo tanto, se puede señalar que la relación entre consumo de energía y producto muestran trayectorias que se mueven en paralelo presentando causalidad bidireccional lo cual señala que el desempeño de la economía está bastante ligada a los cambios que ocurran en el consumo de energía.
- (3) Bajo un escenario de crecimiento de la economía de tres por ciento y un comportamiento constante de los precios relativos de la energía, los pronósticos hasta el año 2025 hechos con los modelos econométricos

construidos señalan que el consumo de energía seguirá incrementándose constantemente principalmente en el caso del sector transporte, a pesar de que algunos combustibles que se utilizan en este sector han mejorado en calidad, actualmente el sector que más empeora la calidad del aire.

- (4) Ligado al comportamiento de la energía, se realizaron también modelos para determinar si las emisiones de gases invernadero han disminuido con respecto a la energía y con respecto al producto resultando que las emisiones de 1990 a 2000 han disminuido sólo en el caso del bióxido de carbono y del óxido nitroso a partir de 1996, en el caso del metano se ha mantenido constante su emisión a la atmósfera.

- (5) Los pronósticos de estas emisiones con relación al comportamiento de la energía total y al producto para el 2025, bajo un escenario sin tecnología y la misma tasa de crecimiento que en los pronósticos de energía, señalan que las emisiones de los gases se comportarán similamente con ambas relaciones incrementándose a niveles demasiado altos.

Es así que, dado los resultados encontrados, de mantenerse las mismas condiciones actuales en el sector energético y la composición del producto nacional sin innovaciones tecnológicas importantes. El país estará determinado a pasar por situaciones graves tanto en los aspectos económicos como en los de medio ambiente. Esto debido a que existen riesgos de disminuir considerablemente las reservas de petróleo crudo y gas natural principalmente, como ejemplo de esto diversos especialistas han señalado que las reservas probadas petroleras han disminuido a menos de la mitad desde 1993 a 2002, pero estudios recientes han pronosticado que las reservas probadas de petróleo alcanzan un volumen de 17 mil millones de barriles los cuales cubrirán las necesidades energéticas del mercado interno para los próximos 11 años con expectativas de que se han detectado yacimientos importantes de petróleo en el Golfo de México pero en aguas muy profundas (Villarreal, 2005). Ante una posible baja en las reservas México sería afectado en lo referente a su participación en el mercado mundial de energéticos así

como efectos nocivos en el comportamiento de la economía mexicana. Por otro lado seguiría contribuyendo a emitir más cantidades de gases invernadero a la atmósfera afectando cada vez más las condiciones ambientales del planeta.

En consecuencia, México en los siguientes años debe de trabajar constantemente en resolver los anteriores problemas. El primer paso que se tendrá que hacer es una evaluación lo más cercana posible a la realidad del funcionamiento del sector energético tanto por parte de las instituciones correspondientes como de investigadores en diversas entidades educativas para determinar una línea base. Esto puede ayudar a determinar cuales son las medidas más apropiadas para la aplicación de una política tanto energética como ambiental que busque mecanismos de intervención que obliguen a los diferentes agentes económicos a ser más eficiente en el uso de la energía. Como ejemplo de estas medidas a aplicar existen diversos casos como el de disminuir o eliminar definitivamente los subsidios a los precios de los energéticos los cuales ocasionan un uso excesivo e ineficiente de la energía generando aumento de la demanda, utilización de más recursos naturales y aumento en los niveles de GEI arrojados a la atmósfera.

Se debe renovar constantemente la infraestructura de PEMEX y la CFE mediante inversiones tanto públicas como privadas para aumentar la competitividad de estas empresas en el mercado internacional. Actualmente muchas empresas petroleras en el mundo están utilizando nuevas tecnologías las cuales dan la posibilidad de sacarle más provecho a los pozos petroleros con una cantidad de crudo determinada en el subsuelo, esto a la larga aumentará las reservas y el índice de recuperación de hidrocarburos. Se debe ampliar la red eléctrica utilizando nuevas formas de generación de electricidad como son las plantas de ciclo combinado o mediante plantas eólicas. También un punto importante es mejorar la calidad de los combustibles o sustituir los que actualmente se usan por otros. PEMEX y la CFE no han tenido inversiones importantes y que debieron haberse hecho desde el año 2000, ahora ambas empresas están pasando por severas crisis tanto en su infraestructura como en el aspecto financiero, por lo que es fundamental una reforma energética basada principalmente en la inversión en infraestructura en estos últimos

años y en el sexenio próximo y la empresa no comience a perder competitividad a nivel internacional. Además hay que impulsar el uso de la energía solar, implementar nuevos programas de ahorro energético que involucren la participación de los individuos y de las empresas públicas y privadas.

También el gobierno junto con las instituciones correspondientes, deben de aplicar diversos principios sugeridos por la OCDE que ayuden a mitigar los gases invernadero. Entre las mediadas sugeridas está el principio "el que contamina paga" que busca básicamente que el contaminador pague cierta cantidad de dinero sin tener ningún subsidio para poder enfrentar los costos de las medidas de control y prevención de contaminación para mantener aceptables las condiciones ambientales. Otro principio puede ser el de "responsabilidad extendida a productores" que buscan reducir los materiales tóxicos y conservación del medio ambiente buscando como objetivo el desarrollo sustentable del país. También está el principio de "prevención y control de contaminación integrada" que busca el desarrollo económico con la disminución de los contaminantes y la reducción en el deterioro ambiental mediante el uso correcto de la energía y de los residuos tóxicos (Escalante y Aroche, 2003).

Del mismo modo, deben tomar en cuenta las opciones que se señalaron en el Protocolo de Kioto para poder disminuir la cantidad de emisiones gases invernadero. Es el caso de los MDL que aportarían recursos de manera importante al país para llevar a cabo investigaciones y nuevas tecnologías que mitiguen la emisión de gases a la atmósfera, teniendo una participación notable en los siguientes años en cuenta a la mitigación de gases a nivel mundial. Además es muy importante el apoyo de la sociedad mexicana la cual debe estar consiente del problema energético que existe en la actualidad y sus efectos en el mediano y largo plazos y adoptar formas de ahorro de energía que los beneficien a mejorar aspectos de salud y económicos para mejorar la calidad de vida.

REFERENCIAS

- Akarca, A.T. and Long, T.V., (1980). "On the relationship between energy and GNP: a reexamination", *The Journal of Energy and Development*, 5, 326-331.
- Asafu-Adjaye, J. (2000), "The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: Time series evidence from Asian developing countries", *Energy Economics*, 22, 615-625.
- Bode, S. (2004), "Long-term greenhouse gas emission reductions-what's possible, what's necessary? ", *Energy Policy*, artículo por publicarse.
- Cabral, R. (2003), "El futuro del gas natural en México", *Economía Informa*, 320, octubre, Facultad de Economía, UNAM, 19-24.
- Cárdenas, E. (2000), *La política económica en México, 1950 - 1994*, 1ª reimpresión, Fondo de Cultura Económica.
- Chang, T., W. Fang y L.F. Wen (2001). "Energy consumption, employment, output, and temporal causality: Evidence from Taiwan based on cointegration and error-correction modeling techniques", *Applied Economics*, 33, 1045-1056.
- Chémery, L. (2003), *Los Climas: Cambios en la Atmósfera*, Larousse, España.
- Cheng, B.S. (1997). "Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: A time series analysis", *Applied Economic Letters*, 4, 671-674.
- Cline, W.R. (1992). *The Economics of Global Warming*, Institute for International Economics, Washington.
- Clive, G. (1999), "Testing for sustainable development through environmental assessment", *Environmental Impact Assessment Review*, 177.
- Davidson, J.E.H., D.F. Hendry, F. Srba y S. Yeo (1978), "Econometric modeling of the aggregate time series relationship between consumer's expenditure and income in the United Kingdom", *Economic Journal*, 88, 661-692.
- 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.

Referencias

- Engle, R.F. y C.W.J. Granger (1987). "Cointegration and error correction: representation, estimation and testing", *Econometrica*, 55, 251-276.
- Engle, R.F., D. F. Hendry, y J. Richard (1983). "Exogeneity", *Econometrica*, 51, 277-304.
- Engsted, T. y J. Bentzen (1993). "Expectations, adjustment costs and energy demand", *Resource and Energy Economics*, 15(4), diciembre, 371-385.
- Ericsson, N.R. y J.S. Irons (eds.) (1994). *Testing Exogeneity*, Oxford University Press.
- Erol, U. y E.S.H. Yu (1987), "On the causal relationship between energy and income for industrialized countries", *Journal of Energy Development*, 13, 113-122.
- Escalante, R. y F. Aroche (2003), *Instrumentos Económicos para la Gestión Ambiental. El caso de los aceites lubricantes usados en México*, 1ª edición, DEGAPA-Facultad de Economía, UNAM, México.
- Galindo, L.M. (1997), "El concepto de exogeneidad en la econometría moderna", *Investigación Económica*, 57(2), 97-111.
- Galindo, L.M. (2005), "Short- and long run demand for energy in México: a cointegration approach", *Energy Policy*, 33, 1179-1185.
- Galindo, L.M. y F. Aroche (2000), *Cambio Climático y Fundamentos Económicos: El Caso de México*, Instituto Nacional de Ecología, Banco Mundial.
- Galindo, L.M. y H. Catalán (2003), "Los premios Nobel de economía 2003: Clive W. J. Granger y R. F. Engle", *Economía Informa*, 321, noviembre, Facultad de Economía, UNAM, 30-39.
- 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.
- Giugale, M.M., O. Lafourcade y V.H. Nguyen (2001), "Energy" en *The World Bank, México. A comprehensive Development Agenda for the New Era*, Washington D.C., 357-376.
- Glasure, Y.U. (2002). "Energy and national income in Korea: Further evidence on the role of omitted variables", *Energy economics*, 24, 355-365.

- 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.
- Granger, C.W.J. (1969), "Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods", *Econometrica*, 37, 424-438.
- Granger, C.W.J. (1990), "Where are the controversies in econometric methodology" en C.W.J. Granger *Modeling Economic Series*, Calderon Press, 1-23.
- Granger, C.W.J. y P. Newbold (1974), "Spurious regression in econometrics", *Journal of Econometrics*, 2, 111-120.
- Granger, C.W.J. y A.A. Weiss (1983), "Time series analysis of error correction models", en S. Karlin et al. (eds.), *Studies in Econometrics, Time Series and Multivariate Analysis*, New York Academic Press, 225-278.
- Hansen, H. y S. Johansen (1993), *Recursive Estimation in Cointegrated VAR Models*, University of Copenhagen, Institute of Mathematical Statistics, pre-print 93-1.
- Hondroyanis, G., S. Lolos, y E. Papapetrou (2002). "Energy consumption and economic growth: Assessing the evidence from Greece", *Energy Economics*, 24, 319-336.
- Hwang, D.B.K. y B. Gum (1991). "The causal relationship between energy and GNP: the case of Taiwan", *The Journal of Energy and Development*, 16(2), primavera, 219-226.
- Internacional Energy Agency (IEA) (2001), "Climate change, energy and sustainable development" in *Toward a Sustainable Energy Future*.
- Internacional Energy Agency (IEA) (2003), *Energy Technology: Facing the Climate Change*, abril.
- Internacional Energy Agency (IEA) (2004), *Analysis of the Impact of High Oil Prices on the Global Economy*, mayo.
- Johansen, S. (1988). "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 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.
- Johansen, S. y K. Juselius (1992), "Testing structural hypothesis in a multivariate cointegration analysis of PPP and the UIP for UK", *Journal of Econometrics*, 53, 211-244.
- Kwiatkowski, D., P.C.B. Phillips, P. Schmidt e Y. Shin (1992). "Testing the null hypothesis of stationary against the alternative of a unit root", *Journal of Econometrics*, 1, 159-178.
- Kraft, J. y A. Kraft (1978), "On the relationship between energy and GNP", *Journal of Energy and Development*, 3, 401-403.
- Krugman, P. y M. Obstfeld (2001), *Economía Internacional. Teoría y Política*, 5ª Edición, Pearson Educación, España.
- López, L. (1996), *Una Aplicación para España de un Modelo de Demanda de Energía (1964 – 1987)*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Lustig, N. (2002), *México. Hacia la Reconstrucción de una Economía*, 2ª edición, Fondo de Cultura Económica, México.
- Mabey, N., S. Hall, C. Smith, y S. Gupta (1997). *Argument in the Greenhouse. The International Economics of Controlling Global Warming*, Routledge.
- Maddala, G.S. e I. Kim (1998). *Unit roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press.
- México 2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2001), Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático.
- Mosconi, R. (1998), *MALCOLM (Maximum Likelihood Cointegration Analysis in RATS)*, 1ª edición, Cafoscarina, Venice.
- Naka, A. and Tufte, D., (1997). "Examining impulse response functions in cointegrated systems", *Applied Economics*, 29, 1593-1603.
- Narayan, P.K. y R. Smyth (2003), "Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate Granger causality test", *Energy Policy*, artículo por publicarse.

- Ng, S. y P. Perron (1995). "Unit root tests in ARMA models with data dependent methods for the selection of the truncation lag" *Journal of the American Statistical Association*, 90, 268-281.
- Nordhaus, W.D. (1993), "Economic approaches to greenhouse warming", en R. Dorbusch y J.M. Poterba (eds.), *Global Warming: Economic policy responses*, MIT Press, 7-31.
- Oh, W. y K. Lee (2004), "Causal relationship between energy consumption and GDP revised: the case of Korea 1970-1999", *Energy Economics*, 26, 51-59.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2003), *OECD Environmental Performance Reviews: México*, France.
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2005), *OPEC: General Information*, Vienna, Austria.
- Ozcicek, O. y D. McMillan (1999), "Lag length selection in vector autoregressive models: Symmetric and asymmetric lags", *Applied Economics*, 31, 517-524.
- Pangtay, S. (2002), *Petroquímica y Sociedad*, 3ª edición, Fondo de Cultura Económica, México.
- Petróleos Mexicanos Explotación y Producción (PEMEX) (2004), *Las Reservas de Hidrocarburos en México*, México.
- Phillips, P.C.B. y P. Perron (1988). "Testing for unit roots in time series regression", *Biometrika*, 75, 335-346.
- Pindyck, R. y D.L. Rubinfeld (1996), *Microeconomía*, Limusa, México.
- Pindyck, R. y D.L. Rubinfeld (2001), *Econometría. Modelos y Pronósticos*, 4ª edición, McGraw-Hill, México.
- Reséndiz-Núñez, D. (1994), *El Sector Eléctrico de México*, 1ª edición, Fondo de Cultura Económica, México.
- Sagan, J.D. (1964), "Wages and prices in the United Kingdom: a study in econometric methodology" en P.E. Hart et al. (ed.), *Analysis for National Economic Planning*, Butterworths, 275-314.
- Secretaría de Energía (SENER) (2002), *Balance Nacional de Energía 2001*, México.

- Secretaría de Energía–Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SENER-SEMARNAT) (2002), *Programa: Energía y Medio Ambiente Hacia el Desarrollo Sustentable*, México.
- Shiu, A. y P. Lam (2004), "Electricity consumption and economic growth in China", *Energy Policy*, 32, 47-54.
- Sims, C.A. (1972), "Money, income and causality", *American Economic Review*, 62, 540-552.
- Sims, C.A. (1980), "Macroeconomics and reality", *Econometrica*, 48, 1-48.
- Solow, A.R. (1993), "Is there a global warming problem?", en R. Dornbusch y J.M. Poterba (eds.), *Global Warming: Economic policy responses*, MIT Press, 33-69.
- Soytas, U. y R. Sari (2002), "Energy consumption and GDP: causality relationship in G-8 countries and emerging markets", *Energy Economics*, 25, 33-37.
- Spanos, A. (1986). *Statistical Foundations of Econometric Modeling*, 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.
- Stern, D.I. y C.J. Cleveland (2003), "Energy and economic growth". En *Encyclopedia of Energy*, D.I. Stern y C.J. Cleveland (eds.) Academic Press, San Diego, CA.
- Suárez, S. e I. Palacios (2001), *PEMEX y el Desarrollo Económico Mexicano: aspectos básicos*, 1ª edición, IIES, UNAM.
- Sun, J. (2002), "The Kyoto negotiations on climate change an arithmetic perspective", *Energy Policy*, 30, 83-85.
- Varian, H.R. (1999), *Microeconomía Intermedia*, 5ª edición, Antoni Bosch editor, España.
- Villagómez, A. (1983), "Crecimiento económico y consumo de energía en el sector manufacturero: 1965-1979", *Economía Mexicana, Análisis y Perspectivas*, 5, 211-219.
- Villarreal, E. (2005), "¿Adios al oro negro?: México y el petróleo" en *Revista Ejecutivos de Finanzas*, Agosto, 30-38.

Referencias

- Yoo, S. (2004), "Electricity consumption and economic growth: evidence for Korea", *Energy Policy*, artículo por publicarse.
- Yu, E.S.H. y J.Y. Choi (1985). "The causal relationship between energy and GNP: an international comparison", *Journal of Energy and Development*, 10, 249-272.
- Yu, E.S.H. y B.K. Hwang (1984). "On the relationship between energy and GNP: further results", *Energy Economics*, 6, 186-190.

ANEXO I

AI. Metodología econométrica

La demanda de energía en México se puede especificar como una demanda tradicional por lo tanto para poder construir los modelos se deben realizar algunas pruebas estadísticas y econométricas para conocer cuál es el comportamiento de las variables involucradas, la significancia de las variables para aportar información al modelo, la construcción de modelos para conocer las relaciones de largo y corto plazos y realizar pronósticos del comportamiento de la energía en los siguientes 20 años aproximadamente. Por lo tanto, la metodología econométrica que se utilizará para la estimación de los modelos de consumo de energía para el caso mexicano es la siguiente:

AI.1 Pruebas de raíces unitarias

Las series de tiempo son un proceso estocástico el cual está definido como una sucesión de variables aleatorias, por lo tanto a una variable aleatoria se le puede asignar una función de probabilidad $f(x, \sigma)$ que puede ser identificada por los parámetros la función, es decir, mediante la media (μ) y la varianza (σ^2) del proceso estocástico. En consecuencia, se dice que un proceso estocástico es estacionario cuando su media y su varianza no cambian en el tiempo.

Los procesos estocásticos pueden ser "ruido blanco" que es un proceso en el cual tiene como característica que la media sea cero y la varianza constante o también puede ser un proceso autorregresivo (AR) en donde los valores actuales de la serie dependen de un valor anterior multiplicado por el término ϕ , además de no existir autocorrelación entre los términos de error. Dicho proceso autorregresivo está representado de la siguiente forma:

$$(AI.1) \quad x_t = \phi x_{t-1} + \varepsilon_t$$

Entonces el parámetro ϕ puede tener los siguientes valores:

(a) Si $|\phi| < 1$, la media $E(x_t) = 0$ y $\text{var}(x_t) = \sigma^2$ es constante, por lo tanto, se denomina como proceso estacionario y está representado de la siguiente forma: $x_t = \phi x_{t-1} + \varepsilon_t$

(b) Si $|\phi| = 1$, la media $E(x_t) = 0$ pero $\text{var}(x_t) = \sigma^2 T$ cambia en el tiempo, se denomina como proceso no estacionario o camino aleatorio (random walk) y esta representado como: $x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t$

En consecuencia, para poder saber si una serie es estacionaria o un camino aleatorio se debe conocer su orden de integración el cual se define como el número de veces que debe aplicarse la diferencia para que la serie sea estacionaria, es decir, si la serie es estacionaria en niveles (x_t) el orden de integración es $I(0)$; si es estacionaria aplicando la primera diferencia a la serie (Δx_t) se dice que la serie es no estacionaria de orden de integración $I(1)$; si la serie es estacionaria sólo cuando se aplica la segunda diferencia ($\Delta \Delta x_t$) se dice que el orden de integración de la serie es $I(2)$; así sucesivamente.

Para determinar el orden de integración de las series se necesitan aplicarse pruebas de raíces unitarias, dentro de las más utilizadas en la literatura econométrica y que se aplicarán a las series utilizadas en este trabajo de investigación están la prueba de Dickey – Fuller Aumentada (ADF) (1981), la prueba de Phillips – Perron (PP) (1988) y la prueba de Kwiatkowski, Phillips, Smith y Shin (KPSS) (1992).

AI.1.1 Prueba Dickey – Fuller Aumentada (ADF)

Esta prueba fue desarrollada a inicios de la década de los ochenta y mantiene la misma teoría básica de las pruebas de raíces, en consecuencia la prueba se puede especificar tomando en cuenta la ecuación (10) en donde se busca probar que $|\phi| < 1$ sea estacionario. Restando en ambos lados de la ecuación x_{t-1} y factorizando se obtiene la ecuación para la prueba Dickey – Fuller (ecuación (AI.2)):

$$\begin{aligned}
 X_t - X_{t-1} &= \phi X_{t-1} - X_{t-1} + \varepsilon_t \\
 \Delta X_t &= (\phi - 1)X_{t-1} + \varepsilon_t \\
 \text{(A1.2)} \quad \Delta X_t &= \alpha X_{t-1} + \varepsilon_t
 \end{aligned}$$

Donde $\alpha = (\phi - 1)$

Por lo tanto:

Si $\phi = 1 \Rightarrow \alpha = 0 \rightarrow H_0: \alpha = 0 \rightarrow$ la serie es camino aleatorio.

Si $|\phi| < 1 \Rightarrow \alpha \neq 0 \rightarrow H_a: \alpha < 0 \rightarrow$ la serie es estacionaria.

Teniendo en cuenta la ecuación de la prueba Dickey – Fuller, y sabiendo que una serie presenta regularmente una tendencia que hacen que aumente su valor y si se presenta un proceso AR(p) generando autocorrelación en el término de error el cual anula la prueba y que en consecuencia se deben aumentar rezagos para poder eliminar este problema (Dickey y Fuller, 1981), la prueba Dickey – Fuller puede ser transformada incluyendo una constante y una tendencia de la siguiente manera:

(a) Prueba Dickey – Fuller Aumentada sin constante y sin tendencia:

$$\Delta X_t = \alpha X_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t$$

(b) Prueba Dickey – Fuller Aumentada con constante:

$$\Delta X_t = \beta_0 + \alpha X_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t$$

(c) Prueba Dickey – Fuller Aumentada con constante y con tendencia:

$$\Delta X_t = \beta_0 + \delta T + \alpha X_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t$$

Consecuentemente, si las series indican que necesitan un componente de constante y / o tendencia, esto puede señalar que posiblemente exista un cambio estructural.

Además de que se busca rechazar la hipótesis nula que señala la existencia de una raíz unitaria en la serie que se está analizando.

AI.1.2 Prueba Phillips – Perron (PP)

Esta prueba está basada en la regresión utilizada por ADF pero propone un método alternativo para eliminar la autocorrelación en una prueba de raíces unitarias. La prueba PP estima una ecuación Dickey – Fuller Aumentada y verifica que el t-estadístico del valor α no presente autocorrelación y no afecte la distribución asintótica del t estadístico. La prueba PP se basa en el siguiente estadístico:

$$(AI.3) \quad \hat{t}_\alpha = t_\alpha \left(\frac{\gamma_o}{f_o} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{T(f_o - \gamma_o)(se(\hat{\alpha}))}{2f_o^{\frac{1}{2}}s}$$

En donde α es el estimador y t_α es el ratio de α , $se(\alpha)$ es el error estándar, s es el error estándar de la estimación, γ_o es el error de la varianza del estimador consistente y f_o es un estimador del residual de una frecuencia espectral en cero (Phillips y Perron, 1988).

La utilización de la prueba PP depende de decidir si se incluirá la constante, la tendencia, ambas o ninguna en la prueba de regresión y decidir el método por medio del cual se va a estimar f_o , ya sea por el método de Kernel basado en la suma de las covarianzas o en una estimación espectral de densidad. La distribución asintótica de PP modifica el estadístico t de la prueba que es el mismo reportado con la prueba ADF.

Por lo tanto, la prueba ADF y PP tienen como hipótesis nula la existencia de raíz unitaria en la serie, y para comprobarlo se podrán utilizar los valores críticos de McKinnon (Maddala y Kim, 1988) para comparar los valores del t-estadístico. Por lo tanto, la hipótesis nula es similar a la de ADF y se busca también rechazar la existencia de raíz unitaria en la serie:

AI.1.3 Prueba KPSS

Esta prueba, a diferencia de las otras, se basa en que la serie y_t tiene como hipótesis nula $H_0: \rho < 1$ la cual señala que la serie es estacionaria y como hipótesis alternativa $H_0: \rho = 1$. Esta prueba está basada en una regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) donde se involucra a la variable y_t en función de las variables exógenas x_t (ecuación (AI.4)):

$$(AI.4) \quad y_t = x_t' \delta + u_t$$

Si tenemos una prueba LM la cual está definida como:

$$(AI.5) \quad LM = \frac{\sum_t S(t)^2}{T^2 f_0}$$

En donde, f_0 es un estimador del residual de una frecuencia espectral en cero, S es una función residual, en consecuencia se tiene que $S(t)$ está especificado mediante la ecuación (AI.6).

$$(AI.6) \quad S(t) = \sum_{r=1}^t u_r$$

Los residuales u_t estimados están definidos como: $u_t = y_t - x_t \delta(0)$ y en consecuencia se señala que el estimador δ es estimado mediante Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG). Por ende, se busca rechazar la hipótesis nula, es decir, rechazar que es estacionaria, esto se realiza mediante la comparación del estadístico reportado en la prueba y las tablas con valores críticos presentados en Kwiatkowski, et al (1992, pp.116).

AI.2 Vectores autorregresivos, pruebas de cointegración y modelos de corrección de errores (MCE)

Los modelos de Vectores Autorregresivos (VAR) son una generalización de los modelos de Procesos Autorregresivos (AR) de múltiples series. Este tipo de modelos carece de consistencia teórica, principalmente. Éstos han sido muy utilizados, siendo Sims (1980) el impulsor del uso de dichos modelos hasta llegar a ser fundamentales en el estudio de las relaciones de cointegración. Los modelos VAR se especifican de la siguiente forma:

$$(AI.7) \quad Y_t = A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-k} + u_t$$

Donde $Y_t = (y_{1t}, y_{2t}, y_{3t}, y_{4t}, \dots, y_{kt})$ y A_1, A_2, \dots, A_k son matrices de $k \times k$ y u_t es el vector de errores. Otra forma de representarlo es mediante el operador de rezagos L , teniendo: $Y_t = A(L)Y_t + u_t$ (Maddala y Kim, 1998). En otras palabras, se busca describir el comportamiento de una serie a partir de la propia variable rezagada incorporando variables exógenas rezagadas como se muestra en la ecuación (AI.8).

$$(AI.8) \quad Y_t = \alpha_{11}y_{t-i} + \alpha_{12}x_{t-i} + \alpha_{13}z_{t-i} + u_t$$

En donde x_{t-i} y z_{t-i} son las variables exógenas rezagadas, por lo tanto estos modelos utilizan la información estadística a partir de los rezagos para estimar la evolución histórica de los datos. Estos modelos no imponen restricciones sobre los parámetros, cada ecuación puede estimarse por MCO y se pueden hacer pronósticos.

Para la especificación correcta del modelo VAR, se debe encontrar el número correcto de rezagos que debe tener el modelo, esto puede llevarse a cabo mediante pruebas o criterios como son los de Akaike (AIC), Hannan-Quinn (CHQ) y Schwartz

(SC)³⁵, así como realizar pruebas de mala especificación sobre los residuales del modelo (Spanos, 1986) como la prueba de normalidad (prueba Jarque-Bera (J-B)), autocorrelación (Lagrange Multiplier (LM)) y heterocedasticidad (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH). Ello se debe a que si el VAR se especifica con pocos rezagos puede provocar que se presenten problemas de autocorrelación, en cambio, un VAR con excesivos rezagos puede incrementar el error cuadrático medio del modelo y el modelo puede generar pronósticos erróneos (Ozcicek y Mc Millan, 1999).

Los modelos de corrección de errores (MCE) fueron creados por Davidson, Hendry, Srba y Yeo (1978), posteriormente junto con el desarrollo de los modelos VAR siguieron siendo usados principalmente por Sargan (1964), Davidson, et al (1978) y Granger y Weiss (1983), siendo una herramienta útil en el análisis econométrico para determinar las relaciones de corto plazo la cual contiene información de largo plazo. Los MCE se pueden especificar de la siguiente forma:

$$(A1.9) \quad \Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta x_t + \beta_2 (y_{t-1} - x_{t-1}) + u_t$$

La ecuación (A1.9) señala que los cambios en la variable dependiente (y_t) están relacionados con los cambios en la variable independiente (x_t) y el rezago $t - 1$ de la diferencia de ambas variables siendo este último término $(y_{t-1} - x_{t-1})$ ³⁶ el más importante debido a que esta diferencia entre variables en el largo plazo es fundamental para explicar los cambios en el corto plazo (Galindo y Catalán, 2003).

Teniendo en cuenta lo anterior, para poder estimar un modelo que esté correctamente especificado se debe de tomar en cuenta el orden de integración de las series y el problema de la regresión espuria (Granger y Newbold, 1974) se debe realizar el procedimiento de Johansen (1988) el cual utiliza modelos de vectores autorregresivos para tratar de encontrar relaciones de cointegración que pueden

³⁵ Para analizar con más detalle estos criterios ver Maddala y Kim (1998).

³⁶ El mecanismo de corrección de errores debe ser negativo, (entre 0 y -1) y estadísticamente significativo, en consecuencia el valor del mecanismo representa la proporción (%) que la variable endógena corrige el desequilibrio de largo plazo en cada periodo.

existir entre determinadas variables. Es así que el procedimiento de Johansen (1988) estima un modelo de k rezagos que busca describir el procedimiento estocástico de los datos y encontrar relaciones de largo plazo entre las variables determinadas por el modelo. Si tenemos un modelo VAR de la siguiente manera Johansen (1995):

$$(A1.10) \quad Y_t = \Pi_1 Y_{t-1} + \dots + \Pi_k Y_{t-k} + \Phi D_t + u_t$$

Si las variables que componen el VAR cointegran, se puede reparametrizar en la forma de vector o Modelo de Corrección de Error (VECM) (Johansen, 1988 y 1995) como se muestra en la ecuación (A1.11):

$$(A1.11) \quad \Delta Y_t = \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \Gamma_2 \Delta Y_{t-2} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta Y_{t-k+1} - \delta X_{t-1} + \Phi D_t + u_t$$

En donde, se puede Y_t representa el vector que contiene a todas las variables que se van a utilizar en el modelo, Π representa dos matrices, donde β' es una matriz compuesta por los vectores de cointegración y la matriz α de ponderaciones ($\Pi = \alpha\beta'$), D_t es un vector en donde se puede incluir otras variables como la constante, la tendencia y/o variables dummy estacionales o de intervención y finalmente u_t debe de tener varianza constante y media cero. Por lo tanto un VAR puede especificarse más detalladamente como lo muestra la ecuación (A1.12).

$$(A1.12) \quad Y_t = \sum^k \Pi_{y,i} Y_{t-i} + \sum^k \Pi_{z,i} Z_{t-i} + \beta_0 + \beta_1 T + \gamma d_t + \Phi W_t + u_t$$

En esta ecuación, Y_t está integrado por las variables endógenas, el término Z_{t-i} son las variables exógenas, β_0 contiene un término constante, T es la tendencia, d_t y W_t contiene variables dummy estacionales y de intervención respectivamente y u_t es el término de error. Un punto importante en la estimación de este tipo de modelos es que las series económicas que se utilizarán pueden presentar cambios estructurales al modificar su tendencia durante ciertos períodos de tiempo. Ello puede dificultar su

uso y arrojar resultados erróneos en las pruebas de cointegración (Maddala y Kim, 1998). En consecuencia, es necesario hacer un análisis de la estabilidad de los rangos de cointegración de los modelos. Este procedimiento alternativo de cointegración fue desarrollado por Hansen y Johansen (1993) en donde se evalúa la estabilidad del rango de cointegración encontrados mediante la prueba de la traza. Es decir, el modelo estima una determinada sub-muestra para posteriormente añadir recursivamente más datos para observar la posibilidad de que la prueba de la traza seleccione un rango distinto o un número diferente de vectores de cointegración.

Por lo tanto, este análisis se puede ver gráficamente en donde existe una hipótesis de estabilidad que es rechazada cuando el rango de cointegración es superior a uno durante cierto período de tiempo. Este análisis gráfico se lleva a cabo mediante dos tipos de modelos en donde el Modelo Z, que tiene los parámetros de corto y largo plazo, son estimados para cada sub-muestra y el Modelo R que contiene los parámetros de corto plazo son considerados fijos y sólo se estiman los que corresponden al ajuste de largo plazo. En el caso de que los resultados de los dos modelos sean contradictorios con la evidencia empírica sugiere aceptar el resultado del Modelo R como definitivo (Hansen y Johansen, 1993). En el caso incluir variables dummy de intervención en el sistema, los residuales se pueden considerar estacionarios en torno a un componente determinístico (Mosconi, 1998).

AI.3 Prueba de exogeneidad débil

Se define como variable exógena aquella que se determina por fuera del sistema analizado sin la posibilidad de perder información relevante con respecto al modelo especificado. Por lo tanto la exogeneidad busca resolver problemas como la especificación arbitraria del modelo, la selección y el uso de las variables y las críticas sobre la carencia de confiabilidad de los parámetros ante modificaciones de política económica, buscando finalmente modelos bien especificados, mejores proyecciones y simulaciones de políticas económicas (Galindo, 1997).

Para determinar la prueba de exogeneidad débil, primero, si se tiene un proceso generador de información el cual se representa como un proceso estocástico con una distribución de probabilidad infinita: $F(X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt})$, se debe disminuir el número de los parámetros desconocidos que definen a dicho proceso mediante el manejo de información teórica y empírica. Entonces el proceso generador de información es similar a una función de distribución de probabilidad condicional el cual tiene un número infinito de parámetros y se representa mediante un modelo que determina las variables endógenas en función de las exógenas y que separa las variables que no son importantes para el sistema (Granger, 1990) como se muestra en la ecuación (A1.13) (Galindo, 1997).

$$(A1.13) \quad F(X_t | X_{t-1}, \theta) = F_{yz}[y_t | Z_t, X_{t-1}, \lambda_1] \cdot F_z[Z_t | X_{t-1}, \lambda_2]$$

En donde $(X_t | X_{t-1}, \theta)$ significa una función de densidad conjunta, $F_{yz}[y_t | Z_t, X_{t-1}, \lambda_1]$ es una función de densidad condicional para Y_t dado Z_t y $F_z[Z_t | X_{t-1}, \lambda_2]$ es la función de densidad marginal de Z_t , además de que $X_t = (Y_t, Z_t)$ es el tamaño total de la muestra de datos, Y_t es un subconjunto de variables que están en el modelo final y Z_t son las variables excluidas. De este modelo se puede llegar a otro que utiliza únicamente dos variables:

$$(A1.14a) \quad y_t = E[y_t | z_t] + e_{t1} = \beta_0 + \beta_1 z_t + e_{t1}$$

$$(A1.14b) \quad z_t = \mu + e_{t2}$$

De estas ecuaciones se desprende que $e_{t1} = y_t - E[y_t | z_t]$ que es ortogonal a y_t ($E(y_t, e_{t1}) = 0$) y e_{t1} tiene sólo la información de y_t y no existe autocorrelación con z_t . Por lo tanto, una variable z_t es exógena débil si se cumplen las siguientes condiciones: que los parámetros de interés Ψ del modelo dependen de λ_1 y que al factorizar la ecuación (Za) permite operar un corte secuencial (Johansen, 1992) quedando la función como:

$$(A1.15) \quad F(X_t | \Phi) = F_{yz}[y_t | y_{t+1}, Z_t | \lambda_1] \cdot F_z[Z_t | \lambda_2] = F(y_t | \Omega, \lambda_1)$$

La letra Ω representa la información disponible. Cumpliéndose las condiciones anteriores entonces se puede realizar inferencias estadísticas válidas sobre los parámetros más importantes. Los modelos sobreparametrizados de los modelos de vectores autorregresivos de dos variables con el supuesto de haber encontrado un vector de cointegración son los siguientes:

$$(A1.16) \quad \Delta y_t = \alpha_{11}[y - \delta_1 z]_{t-1} + \alpha_{12}\Delta y_{t-1} + \alpha_{13}\Delta y_{t-1} + e_{1t}$$

$$(A1.17) \quad \Delta z_t = \alpha_{21}[y - \delta_1 z]_{t-1} + \alpha_{22}\Delta y_{t-1} + \alpha_{23}\Delta z_{t-1} + e_{2t}$$

En consecuencia esta prueba se define como: $\alpha_{21} = 0$, en donde los parámetros λ_1 y λ_2 están representados como los coeficientes (α_{21}, δ_1) y son exógenos débiles cuando estos coeficientes sean cero. El estadístico para esta prueba está distribuido como una χ^2 con la hipótesis nula de que (Johansen y Juselius, 1992):

$$(A1.18) \quad T \sum_{i=1}^r \ln \left[\frac{(1-\gamma_1)}{(1-\gamma_2)} \right] \approx \chi^2(rp)$$

En la prueba encontramos que r son los vectores de cointegración, γ_1 y γ_2 son las raíces características máximas de los VAR con restricciones y sin restricciones respectivamente, p es el número de parámetros y T es el número de datos (Johansen, 1992 y Galindo, 1997).

A1.4 Prueba de causalidad de Granger

En la economía un problema común es determinar si los cambios que se presentan en una determinada variable es resultado de los cambios de otra variable. En consecuencia se han realizados pruebas para poder resolver esto como la prueba de causalidad de Granger (1969) y Sims (1972).

La idea básica de la prueba de causalidad es si la variable X causa a Y, entonces los cambios en X anteceden a los cambios en la variable Y, diciendo en una regresión de Y en función de sus valores pasados además de los valores anteriores de X como variables independientes deberá contribuir de manera significativa el poder de explicación de la regresión, en consecuencia se dice que "X causa a Y" (Pindyck y Rubinfeld, 2001), teniendo en cuenta también de que puede darse el caso de que exista una relación unidireccional (de X a Y) o bidireccional (de X a Y y de Y a X).

Para llevar a cabo la prueba de causalidad de Granger se debe de emplear un conjunto de variables que sean estacionarias, esto debido a si se utilizarán series no estacionarias la prueba de causalidad podría conducir a resultados de causalidad espurios (Granger y Newbold, 1974). Es así que Engle y Granger (1987) incorporan información de las propiedades de cointegración de las series mediante los modelos de corrección de errores (MCE) los cuales especifican la relación causal entre dos o más variables conteniendo una relación de equilibrio, mediante el mecanismo de corrección de error, que existe en la relación de largo plazo y que persiste más allá del ajuste de corto plazo. La ecuación del MCE se puede representar de la siguiente manera:

$$(A1.19) \quad \Delta y = \alpha + \sum_{i=1}^k \gamma_i \Delta x_{t-i} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta y_{t-i} + \phi_1 ecm_{t-1} + u_t$$

La hipótesis nula de esta prueba es que no existe causalidad ($H_0: (\forall i) \gamma_i = 0$), por lo tanto, para poder determinar que si existe o no la causalidad los parámetros de la(s) variable(s) que causan a Y deben ser estadísticamente diferentes de cero como grupo, esto mediante una prueba estadística F ó una prueba χ^2 y que la probabilidad de estas debe ser menor a 0.05 para rechazar la hipótesis nula de no causalidad.

AI.5 Análisis impulso–respuesta y descomposición de varianza

Se define como análisis de impulso–respuesta a la trayectoria de la respuesta de una variable endógena en los siguientes periodos a un cambio en las innovaciones en una ó en más variables mediante interacciones dinámicas (Naka y Tufte, 1997). Por otro lado, la descomposición de la varianza mide el porcentaje de la varianza del error de una variable ante un cambio o *shock* de una variable en el sistema. Por consiguiente, si tenemos un modelo de vectores autorregresivos de orden k y con i rezagos el cual está representado del siguiente modo:

$$(AI.20) \quad Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^k A_i Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Donde ε_t es un vector de $m \times n$ perturbaciones, α es un vector de orden $m \times n$ constantes y A_i son matrices determinadas bajo condiciones de ortogonalidad. Por lo tanto se tiene que $E[\varepsilon_t] = 0$ y $E[\varepsilon_t | Y'_{t-i}] = 0$, para $i = 1, 2, \dots, k$. El término ε_t es el proceso de las innovaciones³⁷. Si k es muy grande, entonces el vector ε_t no tiene autocorrelación. La ecuación (AI.20) puede ser modelada en términos de la innovación la cual es un vector de representación móvil y se reescribe de la siguiente forma:

$$(AI.21) \quad Y_t = \alpha' + \sum_{i=0}^{\infty} C_i \varepsilon_{t-i}$$

En esta ecuación tenemos que α' es un vector de constantes y C_i es una matriz $m \times n$. A fin de construir una representación de un promedio móvil con un proceso de perturbación contemporáneamente ortogonal, el vector $\varepsilon_t = F u_{it}$ donde F es una matriz triangular. Entonces un vector de representación móvil en términos de innovación ortogonal en todos los rezagos está dado por:

³⁷ El proceso de las innovaciones también se le conoce como el proceso de un paso delante de los errores pronosticados.

$$(A1.22) \quad Y_t = \alpha' + \sum_{i=0}^k C_i F u_{t-i}$$

$$Y_t = \alpha' + \sum_{i=0}^k D_i u_{t-i}$$

En donde $D_i = C_i F$ es la descomposición de Cholesky del vector u_t . La ecuación (A1.22) puede ser usada para derivar las funciones de impulso-respuesta. Teniendo en cuenta las ecuaciones (A1.21) y (A1.22), los k errores pronosticados y de Y_t que está determinado por sus valores anteriores se obtiene que: $Y_t - \hat{E}_{t-k} Y_t = C_0 \varepsilon_t + C_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + C_{k-1} \varepsilon_{t-k+1} = D_0 u_t + D_1 u_{t-1} + \dots + D_{k-1} u_{t-k+1}$, en donde $\hat{E}_{t-k} Y_t$ es el pronóstico de Y_t . La matriz de varianza-covarianza con k errores pronosticados está representada de la siguiente manera:

$$(A1.23) \quad E[(Y_t - \hat{E}_{t-k} Y_t)(Y_t - \hat{E}_{t-k} Y_t)'] = D_0 E[u_t u_t'] D_0' + D_1 E[u_t u_{t-1}'] D_1' + \dots + D_{k-1} E[u_t u_{t-k+1}'] D_{k-1}'$$

Los términos de la diagonal representan los k términos de errores pronosticados dentro de las partes atribuibles para los *shocks* en los n componentes de u_t . Un punto importante es que conforme se ordenen las variables, éstas podrían afectar los resultados del análisis de impulso-respuesta y de descomposición de varianza si las tendencias comunes están absolutamente sin correlacionar.

ANEXO II

Cuadro AII.1
Pruebas de raíces unitarias

Variable	ADF			PP (3)			KPSS (6)	
	A	B	C	A	B	C	η_{μ}	η_{τ}
cne_t	-0.507 (0)	-3.779 (0)	2.313 (1)	-0.638	-3.332	3.807	0.836	0.198
Δcne_t	-5.074 (0)	-3.905 (0)	-1.646 (1)	-5.110	-4.006	-2.650	0.679	0.096
cea_t	-0.982 (0)	-2.251 (0)	1.588 (1)	-1.207	-2.069	2.072	0.817	0.190
Δcea_t	-4.682 (0)	-4.326 (0)	-3.849 (0)	-4.707	-4.392	-3.909	0.667	0.065
cei_t	-0.892 (1)	-4.218 (1)	0.546 (3)	-1.062	-4.388	3.148	0.797	0.180
Δcei_t	-8.375 (0)	-2.497 (1)	-1.573 (2)	-8.104	-5.973	-4.432	0.656	0.079
cer_t	-0.107 (0)	-2.055 (0)	2.067 (2)	-0.045	-2.046	5.103	0.778	0.170
Δcer_t	-6.882 (0)	-2.814 (1)	-1.601 (1)	-6.844	-6.205	-3.567	0.645	0.079
cet_t	-1.113 (0)	-3.823 (0)	2.119 (1)	-1.208	-3.380	3.802	0.761	0.161
Δcet_t	-4.421 (0)	-3.576 (0)	-2.511 (0)	-4.376	-3.556	-2.326	0.623	0.100
y_t	-1.584 (0)	-2.875 (0)	2.859 (1)	-1.652	-2.606	5.066	0.744	0.151
Δy_t	-4.644 (0)	-4.142 (0)	-2.616 (0)	-4.633	-4.150	-2.439	0.591	0.127
yag_t	-1.589 (3)	-2.242 (2)	2.058 (3)	-1.274	-1.799	4.846	0.728	0.139
Δyag_t	-5.858 (1)	-2.598 (2)	-1.420 (2)	-6.737	-6.419	-4.512	0.559	0.139
yin_t	-1.692 (0)	-2.710 (0)	4.698 (0)	-1.741	-2.650	4.035	0.710	0.124
Δyin_t	-4.704 (0)	-4.235 (0)	-3.221 (0)	-4.619	-4.176	-3.141	0.533	0.139
pre_t	-1.007 (0)	-0.937 (0)	-0.736 (0)	-0.905	-1.071	-0.758	0.694	0.109
Δpre_t	-3.481 (4)	-6.312 (0)	-6.381 (0)	-6.882	-6.321	-6.378	0.522	0.132

Notas: Los valores en negritas representan el rechazo de la hipótesis nula al 5%. Los valores críticos al 5% de significancia para la prueba Dickey-Fuller Aumentada y Phillips-Perron para una muestra de $T = 100$ son -3.45 incluyendo constante y tendencia (modelo A), -2.89 incluyendo constante (modelo B) y -1.95 sin constante y tendencia (modelo C) (Maddala y Kim, 1998, p. 64). η_{μ} y η_{τ} representan los estadísticos de la prueba KPSS donde la hipótesis nula considera que la serie es estacionaria en nivel ó alrededor de una tendencia determinística respectivamente. Los valores críticos al 5% de ambas pruebas son 0.463 y 0.146, respectivamente (Kwiatkowski et. al. 1992, p. 166). Las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Los valores entre paréntesis son el número de rezagos. Período 1965 - 2002.

Cuadro AII.2

Criterios de Akaike, Hannan-Quinn y Schwarz para especificar el número correcto de rezagos en el VAR

VAR: consumo nacional de energía (cne), producto (y) y precios relativos (pre)			
Criterios			
Núm. de rezagos	Akaike	Hannan-Quinn	Schwarz
1	19.142*	19.005*	18.738*
2	18.906	18.631	18.098
3	18.647	18.234	17.435
4	18.697	18.145	17.080
VAR: consumo nacional de energía (cne) y producto (y)			
Criterios			
Núm. de rezagos	Akaike	Hannan-Quinn	Schwarz
1	-13.906*	-13.845*	-13.726*
2	-13.765	-13.643	-13.406
3	-13.586	-13.402	-13.047
4	-13.408	-13.163	-12.690

Nota: (*) Indica el rezago óptimo para el modelo VAR. Elaboración propia con el programa econométrico MALCOLM.

Cuadro AII.3

Pruebas de mala especificación sobre el procedimiento de Johansen (1988) y Hansen y Johansen (1993) para el consumo de energía nacional y por sectores

VAR 1 (Cuadro 3.2, Capítulo III)				VAR 2 (Cuadro 3.4, Capítulo III)			
	LM (2)	ARCH (2)	JB		LM (2)	ARCH (2)	JB
cne_t	0.408 [0.668]	0.184 [0.832]	0.635 [0.728]	cne_t	0.553 [0.580]	0.647 [0.530]	0.181 [0.913]
y_t	0.554 [0.579]	0.027 [0.973]	3.307 [0.191]	y_t	0.563 [0.574]	0.0271 [0.973]	3.510 [0.172]
pre_t	0.278 [0.758]	0.155 [0.857]	9.979 [0.006]*				
VAR 3 (Cuadro 3.6, Capítulo III)				VAR 4 (Cuadro 3.9, Capítulo III)			
	LM (2)	ARCH (2)	JB		LM (2)	ARCH (2)	JB
cea_t	1.019 [0.372]	0.815 [0.451]	1.141 [0.565]	cea_t	1.023 [0.370]	0.133 [0.716]	2.480 [0.289]
yag_t	1.540 [0.229]	4.691 [0.016]*	0.124 [0.939]	yag_t	1.511 [0.235]	2.121 [0.154]	0.298 [0.861]
pre_t	0.134 [0.875]	0.187 [0.829]	9.631 [0.008]*				
cei_t	2.497 [0.098]	0.130 [0.877]	2.862 [0.239]	cei_t	2.349 [0.111]	0.205 [0.815]	1.684 [0.430]
yin_t	0.849 [0.437]	0.953 [0.397]	7.439 [0.024]*	yin_t	0.857 [0.433]	0.902 [0.415]	7.113 [0.028]*
pre_t	0.254 [0.776]	0.151 [0.860]	9.103 [0.010]*				
cer_t	0.992 [0.382]	0.940 [0.402]	4.796 [0.090]	cer_t	0.927 [0.405]	0.790 [0.462]	3.938 [0.139]
y_t	0.429 [0.654]	0.099 [0.905]	2.481 [0.289]	y_t	0.470 [0.629]	0.131 [0.877]	4.623 [0.099]
pre_t	0.433 [0.652]	0.103 [0.902]	11.278 [0.003]*				
cet_t	1.782 [0.185]	2.851 [0.074]	0.434 [0.804]	cet_t	1.579 [0.221]	1.491 [0.241]	0.710 [0.701]
y_t	1.866 [0.172]	0.938 [0.403]	1.199 [0.549]	y_t	0.348 [0.708]	0.000 [0.999]	4.381 [0.112]
pre_t	0.368 [0.695]	0.147 [0.863]	15.860 [0.000]*				

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. Para el VAR 1 y 3: cne , cea y cei LM: F(2,32) y ARCH: F(2,30), cer LM: F(2,31) y ARCH F(2,29) y para cet LM: F(2,30) y ARCH F(2,28). Para el VAR 2 y 4: cne , cea , cei LM: F(2,33) y ARCH F(2,31) para cer y cet LM F(2,32) y ARCH F(2,30). Las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Los valores entre paréntesis son el número de rezagos utilizados en cada prueba. Periodo 1966 – 2002.

Cuadro AII.4

Descomposición de varianza del consumo nacional de energía (cne_t) (%)

Período	S.E.	cne_t	y_t
1	0.036243	100.0000	0.000000
2	0.049597	99.88922	0.110781
3	0.058861	99.62485	0.375148
4	0.065956	99.20019	0.799811
5	0.071667	98.61064	1.389356
6	0.076415	97.85399	2.146010
7	0.080462	96.93053	3.069471
8	0.083985	95.84316	4.156842
9	0.087110	94.59735	5.402654
10	0.089931	93.20101	6.798989
11	0.092519	91.66430	8.335702
12	0.094930	89.99929	10.00071
13	0.097208	88.21963	11.78037
14	0.099387	86.34014	13.65986
15	0.101494	84.37639	15.62361
16	0.103552	82.34429	17.65571
17	0.105576	80.25967	19.74033
18	0.107582	78.13795	21.86205
19	0.109580	75.99386	24.00614
20	0.111577	73.84114	26.15886

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro AII.5

Descomposición de varianza del ingreso (y_t) (%)

Período	S.E.	cne_t	y_t
1	0.032631	42.04689	57.95311
2	0.046056	38.99943	61.00057
3	0.056369	36.12271	63.87729
4	0.065120	33.42386	66.57614
5	0.072914	30.90551	69.09449
6	0.080061	28.56659	71.43341
7	0.086744	26.40310	73.59690
8	0.093079	24.40877	75.59123
9	0.099147	22.57572	77.42428
10	0.105002	20.89502	79.10498
11	0.110685	19.35710	80.64290
12	0.116226	17.95210	82.04790
13	0.121646	16.67019	83.32981
14	0.126964	15.50173	84.49827
15	0.132191	14.43744	85.56256
16	0.137339	13.46852	86.53148
17	0.142414	12.58667	87.41333
18	0.147424	11.78415	88.21585
19	0.152373	11.05379	88.94621
20	0.157265	10.38897	89.61103

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro AII.6

Demanda de energía nacional y por sectores 1965–2025.

Escenario de crecimiento del ingreso real de tres por ciento del producto y precios relativos de la energía constante

año	Nacional ene	Agropecuaria cea	Industrial oil	Residencial cor	Transporte cet	año	Nacional ene	Agropecuaria cea	Industrial oil	Residencial cor	Transporte cet
1965	1386.09	41.27	326.36	302.89	275.11	1996	5778.81	101.40	1282.54	836.02	1418.83
1966	1495.62	42.97	390.82	312.97	297.43	1997	5979.92	103.62	1298.47	841.22	1478.14
1967	1634.65	43.89	390.55	320.13	323.85	1998	6116.72	106.56	1320.85	863.44	1527.26
1968	1698.34	46.93	410.63	331.02	356.54	1999	6236.14	116.88	1242.10	803.30	1548.04
1969	1853.36	47.26	456.98	339.10	381.94	2000	6442.37	115.52	1274.03	833.58	1614.38
1970	1975.96	48.67	475.23	351.02	403.75	2001	6401.27	110.33	1208.46	839.63	1611.12
1971	1943.81	47.91	466.78	358.48	431.66	2002	6276.40	106.41	1238.16	850.00	1634.32
1972	2162.12	51.61	526.49	373.67	480.96	2003	6465.18	108.19	1272.84	885.97	1688.65
1973	2391.19	53.94	566.18	389.29	525.15	2004	6896.46	110.68	1305.63	895.28	1746.21
1974	2524.66	61.58	618.60	399.79	578.76	2005	6890.23	113.19	1338.65	905.26	1804.60
1975	2646.68	70.06	661.15	430.99	613.59	2006	7046.85	116.71	1372.03	925.74	1863.05
1976	2819.30	73.11	711.61	448.39	669.57	2007	7245.45	118.25	1403.88	946.79	1923.36
1977	3020.65	76.39	712.03	455.65	711.26	2008	7446.97	120.81	1436.30	968.15	1984.95
1978	3263.41	81.38	816.84	476.81	773.47	2009	7651.16	123.39	1468.40	989.83	2047.84
1979	3722.18	86.27	874.41	482.73	876.03	2010	7868.08	125.98	1497.26	1011.79	2112.62
1980	4189.07	95.60	890.00	492.37	981.51	2011	8087.71	128.69	1527.95	1034.02	2177.53
1981	4466.91	98.40	922.23	503.37	1,081.16	2012	8290.18	131.22	1558.68	1056.51	2244.36
1982	4812.64	104.70	1,025.73	539.59	1,065.71	2013	8495.51	133.87	1589.16	1079.28	2312.55
1983	4555.72	90.46	1,074.61	588.07	975.23	2014	8713.77	136.54	1619.78	1102.31	2382.09
1984	4619.65	90.06	1,036.27	604.29	1,029.30	2015	8935.01	139.23	1650.51	1125.62	2453.00
1985	4720.19	92.39	1,058.83	622.11	1,040.42	2016	9158.30	141.94	1681.39	1148.20	2525.31
1986	4803.43	91.80	989.85	624.34	1,033.62	2017	9384.70	144.67	1712.46	1173.06	2599.01
1987	4924.92	89.39	1,069.22	643.08	1,069.71	2018	9617.27	147.41	1743.78	1197.21	2674.14
1988	4998.64	102.79	1,021.22	651.81	1,072.38	2019	9851.10	150.18	1775.33	1221.94	2750.70
1989	5175.10	98.21	1,091.13	665.05	1,188.68	2020	10088.24	152.97	1807.21	1246.36	2828.71
1990	5161.29	92.58	1,100.46	702.60	1,275.31	2021	10328.78	155.79	1839.43	1271.37	2908.38
1991	5343.64	93.67	1,120.66	728.10	1,360.49	2022	10572.78	158.62	1872.02	1296.68	2989.13
1992	5418.64	91.21	1,117.07	759.45	1,372.60	2023	10820.34	161.48	1905.01	1322.30	3071.98
1993	5407.05	92.99	1,139.23	765.89	1,403.33	2024	11071.63	164.36	1938.42	1348.22	3155.55
1994	5942.49	91.05	1,203.92	823.03	1,471.73	2025	11326.43	167.26	1972.27	1374.45	3241.04
1995	5487.11	69.54	1,255.45	816.35	1,339.08						

Fuente: Datos de 1965–2002: Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía. Datos de 2003–2025: Extrapolación propia utilizando los métodos estimados para este trabajo.

Series y fuentes estadísticas

- cne_t = Consumo nacional de energía (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.
- cea_t = Consumo de energía sector agropecuario (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.
- cei_t = Consumo de energía sector industrial (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.
- cer_t = Consumo de energía sector residencial (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.
- cet_t = Consumo de energía sector transporte (petajoules), Secretaría de Energía (SENER), Balance Nacional de Energía.
- y_t = Producto interno bruto real en millones de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- yag_t = Producto agropecuario real (utilizado para el cea) en millones de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- yin_t = Producto industrial real (utilizado para el cei), en millones de pesos (1993=100), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- p_t = Índice nacional de precios al consumidor (base 2002=100), Banco de México (BANXICO).
- pe_t = Índice nacional de precios de la energía (base 2002=100), Banco de México (BANXICO).
- pr_t = Precio relativo de la energía (pe_t/p_t).
- co_2 = Emisiones de bióxido de carbono (millones de toneladas), Inventario de Emisiones a la Atmósfera, 2000, Secretaría de Medio ambiente.
- ch_4 = Emisiones de metano (millones de toneladas), Inventario de Emisiones a la Atmósfera, 2000, Secretaría de Medio ambiente.
- no_x = Emisiones de óxido nitroso (millones de toneladas), Inventario de Emisiones a la Atmósfera, 2000, Secretaría de Medio ambiente.

Todas las series estadísticas utilizadas en este trabajo fueron obtenidas de los siguientes reportes y páginas en Internet:

- Secretaría de Energía (SENER), *Anuario Estadístico 2004*.
- Internacional Energy Agency (IEA), *Energy Balances of OECD countries 1999–2000, Edition 2002*.
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC), *Annual Statistical Bulletin 2003*.
- Secretaría de energía (SENER): www.energia.gob.mx
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI): www.inegi.gob.mx
- Banco de México (BANXICO): www.banxico.org.mx
- Petróleos Mexicanos (PEMEX): www.pemex.gob.mx
- Comisión Federal de Electricidad (CFE): www.cfe.gob.mx
- Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica (FIDE): www.fide.org.mx
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT): www.semarnat.gob.mx
- International Energy Agency (IEA): www.iea.org
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD): www.oecd.org
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC): www.opec.org