



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

“UTILIZACIÓN DEL HIDRÓGENO COMO
COMBUSTIBLE EN LA ZMVM, EN RESPUESTA A
LOS RETOS QUE IMPONE EL DESARROLLO
SUSTENTABLE EN LA ERA DEL FIN DEL
PETRÓLEO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN ECONOMÍA
P R E S E N T A:

JESÚS SALVADOR JIMÉNEZ RIVERA

TUTORA: DRA. MARIA LUISA QUINTERO SOTO



MÉXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

- AGRADECIMIENTOS -

Quiero agradecer a las siguientes instituciones por permitirme las condiciones para poder llevar a cabo mis estudios de maestría.

En primer lugar a la Universidad Nacional Autónoma de México y en particular a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por permitirme formarme en sus aulas y con esto darme la oportunidad de acceder a un mejor futuro.

En segunda instancia al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el apoyo económico brindado durante mis estudios y sin el cual no los hubiera podido realizar.

En el plano personal quiero agradecer a la Doctora María Luisa Quintero Soto, por todo el apoyo que me brindo en la realización de esta tesis y en todos los aspectos académicos en general a lo largo de esta maestría.

Quiero también expresar mi gratitud a todos los docentes del posgrado en economía de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por la formación que he recibido de ellos.

Finalmente quiero agradecer a mi madre María de Jesús Rivera Chávez a mi hermana Claudia Iveth Jiménez Rivera y a Lorena Escobar Delgadillo por apoyarme siempre y por impulsarme en los momentos difíciles a lo largo de esta maestría muchas gracias las quiero mucho.

- ÍNDICE -

Introducción	3
Prologo	7
 Capítulo I: El papel del desarrollo sustentable y la teoría de la innovación tecnológica en la problemática de la contaminación atmosférica.	
1.1. El Desarrollo Sustentable	8
1.2. El PIB ecológico	15
1.3. La teoría de la innovación tecnológica en la economía	18
1.4. La innovación tecnológica en el campo de los energéticos y las energías renovables	23
1.5. El cambio climático y la contaminación atmosférica	27
 Capítulo II: La contaminación atmosférica en el Valle de México como resultado de las emisiones contaminantes de vehículos automotores, en el marco del desarrollismo Mexicano.	
2.1. La contaminación atmosférica en México.....	31
2.2. La contaminación atmosférica en la ZMVM, producto del desarrollismo Mexicano	34
2.3. Medidas para disminuir la contaminación atmosférica	41
2.4. Cultura y Educación ambiental, como métodos para combatir la contaminación en la ZMVM	43
2.5. Deseconomías de escala producto de la contaminación atmosférica en la ZMVM	47
 Capítulo III: ¿La nueva “economía del Hidrógeno”, alternativa en la era del fin del petróleo barato?	
3.1. La nueva economía del hidrógeno y el pico de Hubbert	54
3.2. El hidrógeno y las pilas de combustible.....	61
3.3. Barreras actuales a la utilización del hidrógeno	64
3.4. La experiencia de Estados Unidos y la Unión Europea	66
3.5. Viabilidad del Hidrógeno en México	70

Capítulo IV: Evaluación económica de la utilización de gas Hidrógeno como instrumento que permita la compatibilidad del desarrollo económico y el desarrollo sustentable en la ZMVM.

4.1. Marco legal para la implantación de energías limpias en México	76
4.2. Tecnología e investigación disponible en México, sobre la economía del Hidrógeno.....	84
4.3. Tendencias y perspectivas.....	89
4.4. Evaluación económica de la utilización de gas Hidrógeno, como instrumento que permita la compatibilidad del desarrollo económico y el desarrollo sostenible en la ZMVM	95
4.4.1. Resumen Ejecutivo.....	95
4.4.2. Origen del proyecto y objetivo de estudio.....	96
4.4.3. Situación actual y sin proyecto	97
4.4.4. Situación con proyecto.....	99
4.4.4.1. Descripción del proyecto.....	99
4.4.4.2. Propuesta para generar hidrógeno (in situ)	100
4.4.4.3. Costos de inversión de la planta de hidrógeno.....	103
4.4.4.4. Beneficios esperados de la realización del proyecto	107
4.4.5. Evaluación socioeconómica	109
4.5. Modelo de Ramsey aplicado a las reservas petroleras mexicanas	112
Conclusiones	118
Bibliografía	121
Anexo	126

- INTRODUCCIÓN -

Este trabajo aborda el tema de la energía, el cual suscita gran interés, e incluso genera grandes polémicas, a nivel ético, social, político, económico y técnico, bajo el siguiente contexto:

- La energía es necesaria para la vida y la sociedad.
- El agotamiento a medio plazo de las reservas de los combustibles fósiles.
- La generación y consumo de energía afecta al medio ambiente.
- La energía condiciona el desarrollo de las sociedades.

Actualmente se cuenta con las capacidades y medios para atender de forma sostenible las necesidades energéticas de la humanidad, si se hace un uso racional de todas las fuentes energéticas disponibles, y se realizan los esfuerzos necesarios de investigación y desarrollo, se ahorra en el consumo de energía y se buscan soluciones integrales en el marco global en el que cada vez está más inmersa la sociedad y la economía.

Es indudable la importancia que reviste la energía para el desarrollo social y económico, dado que esta ha sido el gran determinante junto con la tecnología del mundo que hoy conocemos iniciado con la primera revolución industrial, es curioso que la energía que movió a esas primeras máquinas fuera el vapor, y hoy una vez que hemos pasado por economías basadas en el carbón, en la madera y en los hidrocarburos, miramos el futuro como un regreso a la fuente de energía más abundante, el hidrógeno¹, el cual es objeto de estudio de este trabajo ya que este se perfila como el combustible del futuro.

En esta investigación nos concentraremos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), ya que esta presenta grandes problemas producto

¹ Dado que el proceso para la obtención del hidrógeno inicia en el agua la cual se separa en oxígeno e hidrógeno por medio de electrolisis para posteriormente utilizar el hidrógeno como combustible para generar electricidad, este proceso tiene como único residuo agua.

de la contaminación emitida por los vehículos automotores, dado que esta es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica al tiempo que sus costos inciden de manera directa sobre la actividad económica. La contaminación del aire se ha definido por la teoría económica, como un problema de externalidades², entendiendo ésta como un efecto donde, debido a la naturaleza actual de las instituciones económicas y sociales, se imponen costos a terceros los cuales no reciben ninguna compensación, o se conceden beneficios a otros por lo cual no se recibe ningún pago.

Buscar respuesta al siguiente cuestionamiento será el principal problema de esta investigación, ¿En los próximos años, el hidrógeno podría convertirse en el motor de una nueva economía, basada en enfoques responsables con el medio ambiente?

Este trabajo intentara buscar alternativas viables para mitigar los efectos contaminantes de la industria y de los vehículos automotores, al analizar la viabilidad de la utilización de combustibles alternos como el hidrógeno, delineando una política para impulsar el desarrollo de las condiciones necesarias para su implementación, bajo la siguiente hipótesis:

México se encuentra ante un panorama alarmante, en cuanto a emisiones contaminantes, dado su gran consumo de combustibles fósiles, producto de sus actividades económicas y principalmente como consecuencia de las emisiones contaminantes de vehículos automotores. Sin embargo, las condiciones actuales, nos indican que la tendencia alcista de los precios del petróleo, producto de que en el corto plazo se presente escasez relativa y la agudización de la problemática ambiental, crean un entorno positivo para la

² Esto es, existe un efecto externo cuando los consumidores o productores no sufren plenamente las consecuencias de su comportamiento, y cuando al decidir lo que van a producir o consumir ignoran los efectos de sus decisiones sobre terceros. Así, la contaminación del aire es un ejemplo de una externalidad negativa, en el cual las acciones de un agente económico afectan el bienestar de otro, quién no es compensado por los daños que se le causan. Esta diferencia entre los beneficios privados y los costos sociales, es lo que justifica la intervención gubernamental, bajo la forma de políticas públicas que busquen mitigar dichas externalidades negativas y generar un clima propicio para preservar el crecimiento y el bienestar económico al tiempo que da un mayor respeto a terceros como pueden ser el medio ambiente el cual no es compensado por nuestras actividades.

implementación de nuevos desarrollos tecnológicos, como el que permite utilizar al hidrógeno como combustible, de esta manera intentaremos corroborar la siguiente hipótesis en este trabajo: ***"La utilización del hidrógeno en vehículos automotores en la ZMVM permitirá la compatibilidad entre el crecimiento económico y el desarrollo sustentable"***

Los objetivos de esta investigación se describen a continuación:

Objetivo general:

- Discutir las perspectivas de la economía del hidrógeno en México, para su futura aplicación verificando las condiciones que lo permitan a si como sus limitantes.

Objetivos particulares:

- Discutir las aportaciones de las teorías, del desarrollo sustentable y la innovación tecnológica, en la solución del problema de la contaminación atmosférica, con el propósito de obtener elementos que nos faciliten entender este problema en el Valle de México.
- Mostrar que la contaminación atmosférica es resultado directo de las características del "desarrollismo mexicano" que centraliza y concentra, tanto el poder político como económico en la ZMVM.
- Demostrar la manera como la utilización del gas Hidrógeno, contribuye a reducir drásticamente la cantidad de emisiones contaminantes, al tiempo que representa beneficios de largo plazo para la economía, el medio ambiente y para la población en cuanto a su salud.
- Demostrar mediante una evaluación social los beneficios que se podrían obtener de la utilización del gas Hidrógeno como combustible automotriz en la ZMVM.

Los métodos que se utilizarán en la realización de la investigación serán el método analítico-sintético y el método inductivo-deductivo, analizando el problema desde una óptica global, nacional y finalmente local, para poder dimensionar correctamente el problema.

De la misma forma las soluciones pasaran desde un aspecto general plasmando las principales aportaciones teóricas y prácticas para la solución del problema.

Se empleara adicionalmente a lo mencionado el método histórico, por que no podemos pretender explicar una problemática como la que hoy nos aqueja sin entender correctamente su origen.

En el capítulo I haremos una revisión teórica del desarrollo sustentable y de la teoría de la innovación tecnológica para demostrar que estas son compatibles y que en conjunto nos aportan soluciones a los problemas presentes de contaminación.

Para el capítulo II describiremos el problema de la contaminación atmosférica en la ZMVM, al tiempo que discutimos, si es el modelo del desarrollismo Mexicano, el causante de impulsar la dimensión actual de nuestra megalopolis y el gigantesco reto ambiental que enfrentaremos.

En el capítulo III analizaremos la llamada nueva economía del hidrógeno desde un punto de vista técnico, observando las experiencias de Estados Unidos y la Unión Europea, para dar un acercamiento a la viabilidad de su utilización en México, teniendo como parámetros las experiencias ya mencionadas.

Finalmente en el capítulo IV desarrollaremos una evaluación social que intente representar la situación actual y el escenario que presentaría nuestro problema adoptando la utilización de hidrógeno, el enfoque que se le dará será cuantitativo.

- PRÓLOGO -

En la actualidad, a nivel mundial existe una gran preocupación por buscar nuevas fuentes energéticas, para sustituir a los hidrocarburos, por el contexto en el que estos se encuentran, tendencia al alza en sus precios, producto de una percepción de que en el corto plazo se presente escasez relativa, y por otra parte lo dañino que ha resultado su utilización intensiva para el entorno ecológico.

La Unión Europea y Estados Unidos, han observado que lo que se ha dado en llamar "la nueva economía del hidrógeno"³ será de primordial importancia para el siglo XXI y han puesto en marcha proyectos para buscar el aprovechamiento masivo de estas nuevas tecnologías, atendiendo por una parte criterios netamente económicos y por otra al grave problema de la contaminación por emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) , sin afirmar que esta sea la causa del cambio climático dado que aun siguen en debate, la opinión mayoritaria es que efectivamente estas emisiones son causantes del llamado efecto invernadero.

En América Latina sin embargo seguimos pensando que la transición de la actual economía basada en combustibles fósiles hacia fuentes limpias o alternativas como son la energía solar, o la que es objeto de este estudio el "hidrógeno", entre otras, sigue muy lejos y no nos preocupamos por hacer lo necesario para insertarnos en dicha transición.

En este estudio pretendemos diseñar una política que se encamine a fomentar el estudio de estas nuevas tecnologías y facilite la transición de la actual economía energética, basada en hidrocarburos, hacia las tecnologías limpias que seguro se implantaran en el resto del mundo.

³ Este término hace referencia al motor principal de la economía, en este caso una economía basada en hidrógeno como combustible, recordar que ya hemos pasado por economías sustentadas en otros combustibles, por ejemplo, hoy día nos encontramos inmersos en una economía sostenida en hidrocarburos.

- CAPÍTULO I -

EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA TEORÍA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

El desarrollo sustentable, desde el punto de vista económico, está vinculado a la posibilidad de hacer que el sistema económico pueda reproducirse infinitamente, (lo que llamaríamos punto de estabilidad, en un sistema de tipo Solow) actualmente esto solo puede ser posible, si la tecnología avanza hasta conciliar el interés económico de corto plazo y las necesidades futuras.

1.1. El Desarrollo Sustentable.

Mediante el estudio y comprensión del concepto "Desarrollo Sustentable" podemos entender por qué, el desarrollo económico no puede exceder los límites impuestos por el medio ambiente y que el desarrollo presente no debiera comprometer el futuro.

La viabilidad de la nación a largo plazo depende de poner en marcha un proceso de desarrollo sustentable que permita el equilibrio entre sociedad y naturaleza, el mantenimiento de los márgenes de maniobra del Estado, la expansión de los espacios de libertad y democracia, la elevación en los niveles de calidad de vida de la población presente y de las generaciones futuras, y la inserción constructiva de nuestro país en un mundo crecientemente globalizado.

El concepto de *desarrollo sustentable* ha formado parte del discurso de todos los ámbitos académicos, gubernamentales, privados, multilaterales y de la sociedad civil, ocupados de temas relacionados con el medio ambiente. Desde que fue acuñado en la década de los ochenta por el llamado Informe Brundtland, ha permitido integrar consideraciones sociales, económicas,

institucionales y ambientales, constituyéndose en una referencia obligada para toda iniciativa de política.

“El momento de crisis en que nace el concepto de desarrollo sustentable posee características que son fácilmente identificables: deterioro del medio ambiente natural, del cual dependemos completamente, contaminación atmosférica, del agua y de los alimentos; deterioro del medio social, resultando en desnutrición, hambre, violencia; deterioro de la economía que se refleja en procesos de inflación sin control, desempleo y distribución de renta y de riquezas extremadamente desiguales” (Negrão, 2000).

La Comisión Brundtland, creada por la ONU, en 1987, después de 4 años de trabajo publicó la información generada en dicho tiempo bajo el nombre de "Nuestro Futuro Común", en el cual propusieron la siguiente definición:

“El Desarrollo Sustentable es un proceso de cambio en el que la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico e institucional, están todos en armonía, aumentando el potencial actual y futuro para atender las necesidades y las aspiraciones humanas; todo esto significa que el desarrollo del ser humano debe hacerse de manera compatible con los procesos ecológicos que sustentan el funcionamiento de la biosfera” (Enkerlin, 1997).

La sustentabilidad, es un proceso más que un conjunto de metas bien específicas. Implica la modificación de un proceso en la naturaleza, la economía y la sociedad, “se pone más de moda conforme la gente descubre que el crecimiento de la producción ó aún de la riqueza nacional no garantiza la mejora de los niveles y la calidad de vida; pero los retos de la protección ambiental son quizá la fuerza más inmediata que hace tan importante la discusión” (Barkin, 1998).

La Comisión Brundtland recomendó iniciar una nueva perspectiva de adaptar un crecimiento económico justo, desde el punto de vista ecológico, declarando que el desarrollo sustentable debe ser aplicado, tanto a la administración de la economía como al desarrollo de tecnología y al manejo de los recursos naturales, acompañado, congruentemente, de una renovación en los propósitos de la sociedad, orientado a un cambio de actitud de mayor respeto hacia los ecosistemas, la biodiversidad, el medio ambiente y los recursos naturales.

En 2002 en la declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sustentable se plantea: "Asumimos la responsabilidad colectiva de promover y fortalecer, en los planos local, nacional, regional y mundial, el desarrollo económico, desarrollo social y la protección ambiental, pilares interdependientes y sinérgicos del desarrollo sustentable" (UNDESA, 2003).

Existen muchas definiciones de *desarrollo sustentable*, sin embargo su significado es casi intuitivo. Conlleva valorizar, mantener y reconstruir bienes públicos y recursos comunes ambientales de carácter estratégico, lo que requiere un cuidadoso balance entre la economía de mercado, la regulación, promoción del Estado, la participación empresarial, social y comunitaria.

La visión general entre los autores que han abordado el tema tiene que ver con la compatibilidad del desarrollo económico y el desarrollo sustentable. Es evidente que el objetivo a alcanzar es que la técnica de los procesos productivos sea cada vez más respetuosa del ecosistema y se asuman los costos que tiene la contaminación, comúnmente denominadas externalidades, como un costo más de la producción.

Al analizar a la contaminación de esta manera entraremos en la lógica de buscar su reducción como ocurre con todos los costos, dado que la teoría económica siempre busca maximizar el beneficio y minimizar los costos, cosa que no ocurre actualmente con las externalidades contaminantes puesto que

no son debidamente contabilizadas y cobradas a quien ensucia el ambiente y obtiene beneficios por ello.

Existe algunas definiciones de desarrollo sustentable que dan luz sobre la vinculación económica con el medio ambiente tales como:

“Un proceso o condición de sustentabilidad es el que se puede mantener indefinidamente sin la disminución progresiva de las cualidades de valor dentro o fuera del sistema donde opera el proceso o prevalecen las condiciones” (Jardon, 1995: 28).

“La cuestión de la sustentabilidad queda determinada a un *estado estacionario*¹ como una forma de alcanzar las necesidades presente sin afectar las futuras” (Jardon, 1995: 32).

El desarrollo sustentable desde el punto de vista económico se hará compatible con el crecimiento y desarrollo económico solo si sus costos no exceden a sus beneficios y aquí la única solución es la innovación tecnológica que permite hacer más eficiente a los procesos y reducir costos. Ello demanda una nueva visión de los objetivos de progreso económico y social de la nación y un balance apropiado entre éstos y la necesidad de proteger el patrimonio natural. Es preciso consolidar lo que se ha logrado en materia ambiental, aunque también modificar y ajustar las políticas, los instrumentos, las instituciones y los acuerdos requeridos para enfrentar los retos ambientales y de sustentabilidad que plantea el siglo XXI.

Los mercados promueven la eficiencia y la creatividad en el uso de recursos, y favorecen capacidades de adaptación e innovación tecnológica. Por su lado, la actuación del Estado es esencial para corregir, mediante una regulación eficaz, las consecuencias negativas (*externalidades*) de distintas decisiones

¹ Es interesante que esta concepción de sustentabilidad se relacione con la estacionalidad, por que eso nos permite analizarla como un proceso tipo Solow, lo cual facilita su análisis desde el punto de vista formal.

económicas y, para asegurar la creación y protección de bienes públicos ambientales.

Una economía dinámica es condición necesaria para la protección ambiental y la apertura del camino hacia la sustentabilidad. El desarrollo económico significa mayores recursos que pueden ser orientados hacia la conservación de la biodiversidad, hacia la inversión en infraestructura de protección ecológica y hacia cambios tecnológicos y procesos de producción más limpios. Supone también lograr ingresos más elevados que otorgan un mayor peso al medio ambiente en las preferencias sociales, tal como lo demuestra la experiencia en países desarrollados.

El desarrollo sustentable significa conservar el capital ecológico de la nación, así como los bienes públicos y servicios ambientales estratégicos que éste ofrece: estabilidad climática, biodiversidad, recursos naturales, disponibilidad de agua, calidad del aire, equilibrio hidrológico, y, en general, factores de los cuales depende el bienestar de ciudadanos, comunidades y regiones. Sólo una política ambiental eficaz podrá impulsar el desarrollo de nuestro país por cauces de sustentabilidad, en el contexto de una economía dinámica que eleve los niveles de ingreso, acelere la transición demográfica, incremente los niveles y la calidad de vida y reduzca la pobreza.

La protección y mejoramiento del medio ambiente en todos sus alcances interrelacionados, el imperativo del desarrollo sustentable en sus muchas dimensiones, imponen a la sociedad un conjunto de acciones congruentes no sólo de carácter económico para producir y distribuir bienes y servicios, sino además, la incorporación de todos los demás elementos vistos no como costo sino como inversión socialmente redituable.

Es importante sin embargo decir que el desarrollo sustentable, no es un término que cause una aceptación general, pues para algunos este representa el continuismo de la degradación ambiental, y bajo ninguna circunstancia una

preocupación genuina por el medio, ya que solo se preocupa de lo que se pueda valorar. Es aquí donde encontramos otro tipo de conceptos como el de desarrollo compatible, con implicaciones mayores que el de desarrollo sustentable, el cual debemos aceptar ha pasado a formar parte de un discurso político que no aterriza en la realidad.

“Un proceso de desarrollo es *compatible* cuando se realiza sin que se consoliden incompatibilidades, es decir, sin que se establezcan prácticas/entornos incompatibles entre sí” (Medina, 2006).

El modelo de desarrollo compatible tiene por objeto, servir de base para una práctica de estabilizar compatiblemente la diversidad de formas de vida y sus desarrollos. A continuación presentamos una tabla comparativa, del concepto de desarrollo sustentable y compatible.

Tabla 1. Desarrollo sustentable vs Desarrollo Compatible

Desarrollo Sostenido y Sustentable	Desarrollo Compatible
Universalista globalizador	Relativista regionalizador
Homogeneización cultural y económica	Máxima diversidad y compatibilidad
Heteronomía Universal	Autonomía Cultural
Necesario predeterminado por determinismos y principios teóricos	Contingente abierto a los desarrollos creativos
Legitimación Teórica, científica o ética	Practica legitimada democráticamente
Evaluación y decisión de expertos científicos o humanistas	Evaluación y decisión de los implicados

Fuente: Medina M. (Edt. Universitat de Barcelona / Invescit). (2006). *Ciencia, tecnología y cultura, bases para un desarrollo compatible*. España

De lo anterior sería equivocado interpretar el desarrollo compatible como un modelo conservador de estancamiento cultural, en el sentido de que cerraría el paso al cambio y las innovaciones como forma de asegurar la compatibilidad. Por el contrario, más que un desarrollo prefijado por supuestos determinismos externos, se promueven procesos abiertos a la diversidad y la creatividad.

El desarrollo compatible es aquel que aumenta el control que el hombre tiene sobre sus vidas y que rescata y fortalece la identidad de la comunidad, "un desarrollo compatible con la cultura y los valores de los pueblos afectados, un desarrollo de eficiencia económica con equidad dentro y entre generaciones" (Duque, 1991).

La legitimidad del modelo no plantea una cuestión acerca de principios de termodinámica o de ética teórica, sino de la práctica de agentes conscientes de la complejidad de los procesos de estabilización y desestabilización cultural y de las posibilidades de intervenir en su propio desarrollo con libertad y autonomía.

El concepto de desarrollo compatible, actualmente esta integrando en programas como el de la Agenda 21 el cual se define como "Un plan de acción aplicable durante los años noventa y hasta inicios avanzados del siglo XXI, que elabora estrategias y un programa de medidas integradas para frenar los efectos de la degradación ambiental y para promover un desarrollo compatible con el medio ambiente y sostenible en todos los países" (UNDESA, 1992).

Evidentemente ningún modelo produce, por sí mismo, las condiciones para su aplicabilidad efectiva en la práctica, ni se puede esperar, por lo general, que estas vengan dadas por su propio desarrollo. Más bien, una parte importante de esa práctica de la estabilización de desarrollos compatibles consiste en desestabilizar previamente los entornos dados que son incompatibles con la misma.

1.2. El PIB ecológico.

El problema de descontar el deterioro ambiental en el PIB se hace latente al encontrarnos frente a la necesidad de valorizar los bienes públicos, pues como hemos definido las externalidades negativas que tiene algunas actividades económicas sobre el medio ambiente y la salud pública podrían representar costos futuros de altas dimensiones, como dice el grupo ambientalista Green Peace "El costo anual de la degradación ambiental se calcula en 10% del PIB, lo que anula las ganancias del crecimiento económico" (Nadal, 2003).

Para poder acercarnos al concepto de PIB ecológico tenemos que recurrir al instrumental creado por el INEGI, y atender su definición para poder encontrar los parámetros que nos indiquen los costos del deterioro ambiental.

Para el INEGI, el SCN (Sistema de Cuenta Nacionales. 1993), representa el marco conceptual para la cuantificación de los indicadores económicos, que además de determinar los propios agregados, establece sus interrelaciones. Esto permite realizar cálculos para una misma variable por más de un procedimiento, lo que posibilita evaluar la consistencia de la misma, "en el caso del producto interno neto ecológico (PINE), se puede calcular mediante la deducción de los gastos efectuados por diferentes agentes en protección ecológica y en prevención y restauración ambiental (gastos defensivos o GD) con respecto del producto interno bruto (PIB), así como mediante la deducción de los costos derivados del agotamiento neto de los recursos naturales (ANRN) y del deterioro ambiental neto (DAN)" (Vega, 2006).

Partiendo de las variables macroeconómicas convencionales puede estimarse el producto nacional neto ecológico (PNNE) para acercarse más a la definición Hicksiana de ingreso:

$$VBP - CI = PIB$$

$$PIB = CKf - TNX = PNN$$

$$PIN = GD - ARN - DAN - PINE$$

Donde:

VBP = Valor bruto de la producción

CI = Consumo intermedio

PIB = Producto interno bruto

CKf = Consumo de capital fijo

TNX = Transacciones netas con el exterior

PIN = Producto interno neto

GD = Gastos defensivos

ARN = Agotamiento de los recursos naturales

DAN = Deterioro ambiental neto

PINE = Producto interno neto ecológico

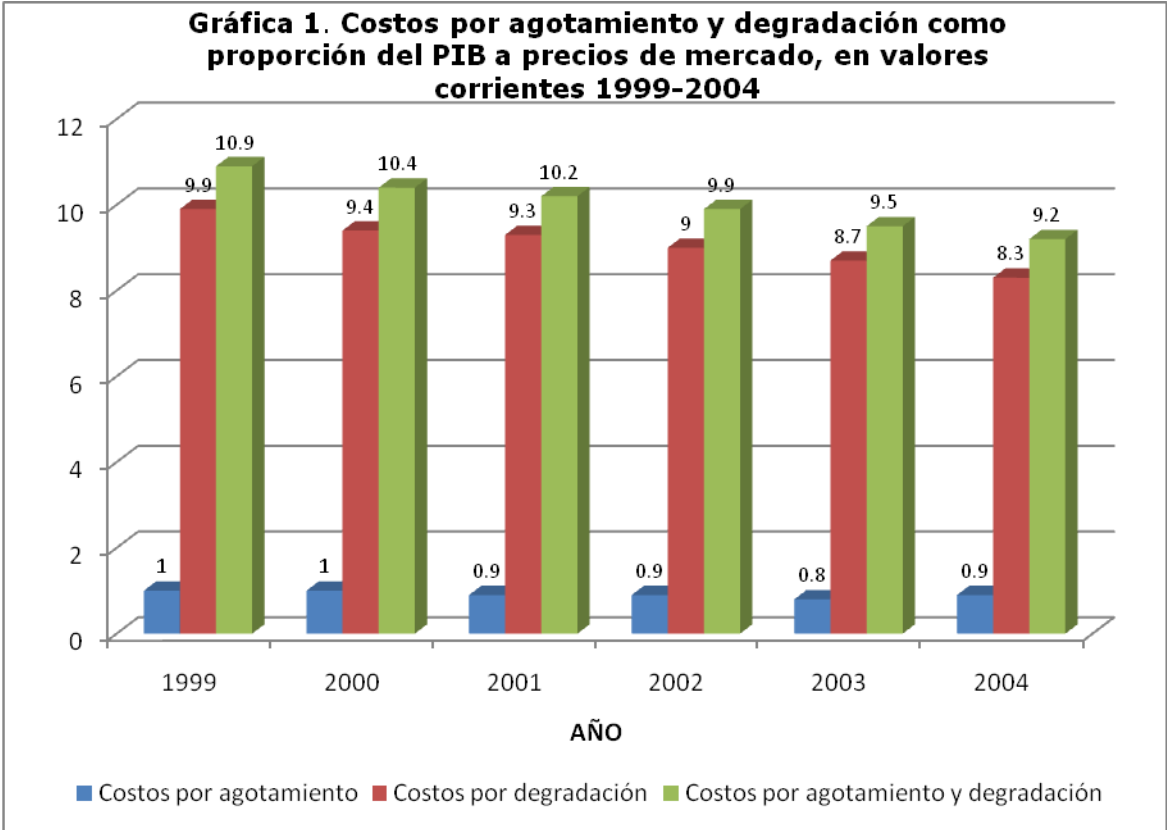
A continuación presentamos un cuadro con las tasas de crecimiento de los principales indicadores que conforman el PIB ecológico o ambiental, resultando de especial interés el destacar que variables como (consumo de capital fijo y costo total por agotamiento y degradación ambiental) presentan valores muy similares, lo cual nos hace reflexionar en la importancia de este tema pues si las empresas se preparan y forman fondos para sustituir el capital depreciado en la producción y lógicamente lo incluyen en sus costos, existe un valor equivalente en depreciación ambiental no absorbido por ellos y que a fin de cuentas corre a cargo de la sociedad.

Tabla 2. Producto Interno Bruto, a precios de mercado, deducida la depreciación de los recursos naturales, 1999-2004 (En millones de pesos corrientes)

AÑO	PIB	CCF	PIN	CTADA	PIBE	PINE	PINE/PIN	PIBE/PIB	CCF/PIB	CTADA/PIB
1999	4,594,724	461,860	4,132,864	500,406	4,094,318	3,632,458	87.89%	89.1%	10.1%	10.9%
2000	5,494,708	524,596	4,966,112	573,158	4,918,550	4,392,954	88.46%	89.5%	9.5%	10.4%
2001	5,809,688	568,522	5,241,166	591,412	5,218,276	4,649,754	88.72%	89.8%	9.8%	10.2%
2002	6,263,137	614,186	5,648,951	620,778	5,642,359	5,028,173	89.01%	90.1%	9.8%	9.9%
2003	6,891,992	692,514	6,199,478	653,954	6,238,038	5,545,524	89.45%	90.5%	10.0%	9.5%
2004	7,709,096	768,806	6,940,290	712,344	6,996,752	6,227,946	89.74%	90.8%	10.0%	9.2%
Promedio del Periodo								90.0%	9.9%	10.0%
Donde:										
PIB: Producto Interno Bruto										
CCF: Consumo de Capital Fijo										
PIN: Producto Interno Neto										
CTADA: Costos totales por Agotamiento y Degradación Ambiental										
PIBE: Producto Interno Bruto Ecológico										
PINE: Producto Interno Neto Ecológico										

Fuente: INEGI Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México 1999-2004

Es bajo este contexto que tomar conciencia de los costos ambientales en los que se incurre para la producción debería ser particularmente importante, es cierto que estos costos por lo menos para el periodo que se muestra en la gráfica no muestran variaciones significativas, pero debemos notar que los ecosistemas en los que se sustentan tienen ciclos que no se ajustan a los económicos.



Fuente: INEGI, Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1999-2004

Es necesario pensar con seriedad, en la importancia de buscar tecnologías, que sean capaces de reducir este costo sobre el ambiente, sobre todo en la coyuntura actual del fin de la era del petróleo barato y la creciente demanda de combustibles fósiles. Pareciera ser, que este es el momento adecuado para plantearse, la necesidad de mirar hacia nuevas fuentes energéticas y procesos de producción, que permitan que el desarrollo económico, no se detenga y que este a su vez sea compatible, con el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable.

1.3. La teoría de la innovación tecnológica en la economía.

El crecimiento económico abre oportunidades constantes de mejoramiento tecnológico, de eficiencia e innovación y permite mejores capacidades adaptativas a los retos de la sustentabilidad. También genera mayores oportunidades educativas, de empleo e ingreso fuera de actividades de subsistencia que presionan directamente a ecosistemas y recursos naturales; mayores ingresos y niveles educativos se asocian a su vez con nuevas conductas reproductivas y con una menor fecundidad, lo que contribuye a mitigar las presiones demográficas sobre sistemas biofísicos finitos.

El principio de la innovación tecnológica en la economía

"La innovación es la búsqueda y el descubrimiento, desarrollo, mejora, adopción y comercialización de nuevos procesos, de nuevos productos y nuevas estructuras de organización y de procedimientos" (Ateca, 2006).

"El análisis del papel desempeñado por la ciencia en relación con la innovación tecnológica, entendiendo por ciencia el rango de conocimientos y destrezas incorporados en las personas que se dedican a la investigación básica con el objeto de obtener conocimiento científico y, como subproducto, desarrollar una serie de métodos particulares para adquirir y valorar el conocimiento, es uno de los aspectos centrales que deberían ser considerados para la formulación de una efectiva política científica y tecnológica" (Viana y Cervilla, 1992).

Los primeros intentos por crear un modelo "general" que explicara los orígenes y la estructura interna de la innovación industrial, tuvieron como punto de partida las ideas fundamentales que sobre la actividad innovadora, habían dejado una huella muy honda en las ideas de Smith, Marx y Schumpeter.

La importancia de la ciencia como una actividad económica fue reconocida por Adam Smith, el medio básico a través del cual podían ocurrir las posibilidades del progreso económico, fue la división del trabajo.

A diferencia de Smith, Marx trató de una manera explícita el papel del conocimiento científico en la producción de mejoras en la productividad laboral. Marx argumentó que la aplicación sistemática de principios científicos a la producción, sólo fue posible después que el capitalismo industrial llegó a ser completamente mecanizado y cuando la separación del obrero y del producto fue completa. En su obra, señala la evolución de los modos de producción distinguiendo tres etapas:

- a) la producción artesanal
- b) la producción fabril
- c) la producción mecanizada

La producción artesanal y fabril estaba limitada por las capacidades y por el uso de obreros calificados. La mecanización de la producción, particularmente dentro del sector de bienes de capital, y la acompañante diferenciación de destrezas de ingeniería, son indicadores de una forma profunda de cambio organizacional que antecedió a la aplicación sistemática de la ciencia a la producción.

Para Marx, el paso crucial fue la construcción de máquinas para hacer máquinas, lo cual creó mayores oportunidades de invenciones mecánicas y la aparición de la profesión del ingeniero, con la consecuente interpretación y aplicación de las "leyes impersonales" del conocimiento científico para su uso en la producción. De acuerdo con estos planteamientos, el rápido crecimiento de la ciencia moderna debe ser visto como parte de un proceso más general de especialización y profesionalización de actividades productivas en las sociedades contemporáneas.

El aporte de Schumpeter

Schumpeter fue quizás el economista que más aportó para la comprensión de la innovación industrial y su importancia en la dinámica del crecimiento económico.

Para Schumpeter, la actividad innovadora es la fuerza más importante del crecimiento capitalista. El crecimiento es visto como el resultado de las variaciones de la actividad promotora en la actividad de innovación; para él la competencia de "nuevos productos" y "nuevos procesos" importa mucho más que la competencia de precios.

Un concepto central en su pensamiento es el del "empresario promotor". "El *espíritu promotor* es una cualidad capaz de imaginar y vislumbrar posibilidades para la innovación, movilizar los recursos necesarios y velar por el desarrollo exitoso de los mismos" (Viana y Cervilla, 1992).

Las innovaciones, según Schumpeter, eran nuevas combinaciones de los recursos productivos, estas tomarían cinco formas principales:

- a) La introducción de un nuevo producto o de una nueva calidad de un producto ya existente.
- b) La introducción de un nuevo proceso de producción.
- c) La apertura de un nuevo mercado.
- d) El desarrollo de una nueva fuente de insumo.
- e) Los cambios en la organización industrial.

Una de las críticas a esta descripción que proporciona, Schumpeter ha sido su carácter difuso, que no establece de forma clara los límites del fenómeno. En el centro de esto, radica el hecho que la innovación es un esfuerzo que produce

una ganancia económica, bien por la reducción de costes, o por la creación de ingreso extra. La novedad es la característica definitoria: hace que sea necesario que exista este cambio cualitativo, por el cual se crea la ganancia extra, para que se pueda llamar innovación.

En las ideas básicas de Schumpeter, está el germen de una discusión importante relacionada con el origen de la innovación. Al respecto, han sido cruciales tres temas:

- a) El papel de la oferta del conocimiento científico y tecnológico en el proceso de innovación.
- b) La relación entre el mercado y la generación de innovaciones.
- c) La relación entre el tamaño de las empresas y su propensión y efectividad para innovar.

"Schumpeter señala la naturaleza del capitalismo como método de cambio económico, con lo que no puede ser estacionario. Uno de los resultados de su análisis es la superioridad del monopolio como estructura de mercado que garantizaría la eficiencia dinámica, al poder apropiarse de los beneficios de la innovación (carga un precio superior al coste marginal), el monopolista está comprometido con la investigación y desarrollo, pudiendo llevar a cabo el proceso de lo que él llama la destrucción creativa" (Schumpeter, 1942). Cuando considera la superioridad del monopolio, sólo tiene en cuenta la capacidad de apropiación de la renta adicional derivada de la innovación, y no del incentivo que puede tener el monopolio, que dada su apropiación de todo el mercado, cabe pensar que será baja.

Teoría del ciclo tecnológico

La teoría del ciclo tecnológico, explica la existencia de los ciclos largos de Kondratieff, por existir momentos en los que la conjunción de algunos

descubrimientos científicos clave permite la aparición de un grupo de nuevas tecnologías, lo que estimula fuertemente la inversión, la demanda y el empleo.

Mientras los nuevos productos se hacen accesibles a un número cada vez mayor de personas en más países el ciclo continuará en su fase expansiva. Cuando los mercados estén saturados se detendrá la inversión, cerrarán empresas y se producirá la recesión a la espera de una nueva ola tecnológica. "Durante el descenso de las grandes oscilaciones, se hace un número especialmente grande de descubrimientos e invenciones en la técnica de producción y de comunicaciones, que en general son aplicados, en gran escala sólo hasta comenzar el gran ascenso siguiente" (Kondratieff, 1944).

Los avances en los transportes suelen ser mostrados como claves en varios ciclos históricos: los ferrocarriles a mediados del siglo pasado, los automóviles a principios de este siglo y los aviones tras la Segunda Guerra Mundial. Muchos analistas consideran que estamos en la fase ascendente de un nuevo ciclo largo provocado por la tecnología informática desarrollada al calor de la investigación para los viajes espaciales.

Se sabe que la tecnología explica gran parte del crecimiento económico de los países. Así, el descubrimiento de Solow de que sólo una fracción pequeña (alrededor del 12, 5%) del crecimiento per cápita de los Estados Unidos entre 1909 y 1949 era debido al crecimiento de la tasa, capital/trabajo, mientras que el 87.5% era atribuible al cambio tecnológico, llamó la atención de los economistas para explicar el papel del progreso tecnológico en la mejora del bienestar (Ateca, 2006).

1.4. La innovación tecnológica en el campo de los energéticos y las energías renovables.

En la innovación tecnológica, existen dos tipos que se diferencian en forma importante en cuanto a su naturaleza; la innovación incremental y la innovación radical. La innovación incremental es resultado de la investigación y desarrollo tecnológico que se realiza en tecnologías ya existentes y cuyos resultados van mejorando los diferentes atributos de las mismas para hacerlas más competitivas y sustentables.

Por otro lado, la innovación radical consiste en los resultados de la investigación y desarrollo tecnológico que generan nuevas tecnologías “las cuales entran en competencia con las tecnologías ya existentes, como por ejemplo, en el pasado el reactor nuclear crítico o en el futuro, de darse, las celdas de combustible de hidrógeno” (Secretaría de Energía, 2003). En el campo energético, la disminución gradual de la intensidad energética (cantidad de energía requerida para generar una unidad monetaria de producto) ejemplifica el papel de la innovación en el área energética y la forma incremental en la que es incorporada al crecimiento económico.

“En los próximos años las nuevas energías renovables deberán ser desarrolladas en forma económicamente eficiente” (Secretaría de Energía, 2003). Para este periodo, no se prevé que el hidrógeno o las energías renovables lleguen a un grado de competitividad que reduzca la necesidad de mantener el uso sustentable y eficiente de los combustibles fósiles, de la hidroenergía o de la energía nuclear, para asegurar la disponibilidad energética a la sociedad mundial.

Energías renovables

Las energías renovables, son aquellas que se regeneran naturalmente en un período relativamente corto, y pueden ayudar a resolver la problemática de la

extracción de energías, sin afectar el ecosistema. El desarrollo tecnológico, presenta alternativas de fuentes energéticas, heterogéneas a las tradicionales, las cuales permiten cubrir con eficiencia las demandas planteadas obteniendo un desarrollo autónomo y sostenible empleando los recursos que se encuentran.

Cuando en 1973 se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía, "resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables, entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones" (CONAE, 2004a).

Las fuentes renovables de energía son la radiación y sus manifestaciones como el viento, la lluvia, las biomásas, el oleaje marino, "El Sol se encarga de calentar la atmósfera terrestre, lo cual tiene efectos sobre la temperatura, lo que trae consigo diferencias de presión, y como consecuencia los vientos, origen de la energía eólica, también evapora el agua que bajo las condiciones atmosféricas propicias se precipita en forma de lluvia en zonas más altas, obteniendo con esto energía potencial la cual puede ser aprovechada con tecnologías de turbinas hidráulicas para generar electricidad o accionar equipos mecánicos" (CONAE, 2004b).

A continuación describiremos las principales fuentes de energías renovables y sus principales características:

Energía Solar: La energía radiante del sol, es prácticamente la madre de todas las energías disponibles. Esta radiación *ondas* electromagnéticas, se puede

convertir en calor o en electricidad. “La conversión de la radiación solar en electricidad, conversión fotovoltaica, permite emplear corriente directa, para suplir las necesidades básicas. Con el auge de estos sistemas se consiguen en el mercado muchos equipos que están acondicionados a estas condiciones. Para dimensionar un sistema solar, se requiere conocer la disponibilidad del recurso solar en el lugar donde se instalará y la carga o demanda” (Rengifo, 2005).

Energía Hidráulica: Se refiere, en éste caso al empleo de pequeñas centrales hidroeléctricas, para suplir las demandas de electricidad. Las centrales hidroeléctricas en sí mismas no son contaminantes, sin embargo, su construcción produce numerosas alteraciones del territorio y de la fauna y flora; dificulta la migración de peces, provoca descargas bruscas de caudal, y lo que es más importante, origina la inundación de tierras cultivables y el desplazamiento forzado de los habitantes de las zonas anegadas por los embalses.

Energía Eólica: Se trata de aprovechar la energía cinética contenida en el movimiento de las masas de aire. La potencia eólica disponible es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento. Ha sido la energía renovable de más amplio desarrollo en los últimos 15 años.

Energía de Biomasa: “La biomasa, es la energía que se produce cuando la energía solar se convierte en química a través del proceso biológico de la fotosíntesis” (Rengifo, 2005).

- a) La Biomasa Primaria: Es aquella que existe y es aprovechada en su estado natural y son los cultivos, árboles, pastos, plantas acuáticas, etc.
- b) La Biomasa Residual: Es como su nombre lo indica, residuos agropecuarios como pulpa de café, cascarilla de arroz o procesamiento de la biomasa, primaria limpieza de bosques,

desechos orgánicos de animales en pie, residuos de sacrificio o de procesamiento.

Hidrógeno: La utilización masiva de este gas en un futuro se prevé, sea para generar electricidad que alimente, celdas de combustible que impulsaran a los futuros automóviles, debido a las expectativas sobre este combustible, se acuñó el término economía del hidrógeno, el cual responde a una visión de futuro donde este gas, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el grueso de las necesidades energéticas de la sociedad.

En todos los países del mundo en donde se han desarrollado en forma espectacular las energías renovables existe un contexto de participación y aliento a la inversión privada, mercados competitivos y regímenes especiales de fomento.

Para el sector privado el desarrollo del mercado de energías renovables no debería estar a cargo del estado pues consideran que “Un monopolio estatal no sería capaz de desarrollar energías renovables en nuestro país, No tendría la flexibilidad, ni los incentivos, ni el interés de hacerlo, ni mucho menos la capacidad institucional, tampoco podrá asignar los recursos financieros requeridos que, en contraste, estarían disponibles a partir de la iniciativa privada nacional y extranjera. No sería aceptable un mayor endeudamiento público, ni tampoco sustraer recursos presupuestarios de donde la responsabilidad del Estado es irrenunciable” (CESPEDES, 2002).

Es indudable que la participación del sector privado debe ser un motor fundamental para el aprovechamiento de energías renovables sin embargo este estudio considera que el papel de Estado en este problema debe ser el de un proveedor de condiciones favorables a la implementación de un aprovechamiento real de las energías renovables.

Actualmente pese a que existen las tecnologías para aprovechar las energías renovables, sus costos de mercado, son superiores a los de utilizar combustibles fósiles y siendo estos el principal causante de la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono), responsables del efecto de calentamiento global que sufre nuestro planeta, resulta apremiante el buscar las formas de aprovechar las energías limpias y disminuir la dependencia mundial del consumo de hidrocarburos, "esta situación no resulta sostenible a medio plazo y se apunta de forma insistente desde las administraciones públicas a la necesidad de preparar una transición controlada hacia una nueva forma de producción y consumo energético que sea limpio, seguro y fiable" (San Miguel, Dufour, Calles, Botas, 2005).

1.5. El cambio climático y la contaminación atmosférica.

El cambio climático

En la actualidad, se halla una fuerte aceptación científica en relación a que el clima global se verá alterado significativamente, en el próximo siglo, como consecuencia del acrecentamiento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos, "se sabe que estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que aumentara la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5 °C" (CCCG, 2006)

En 1988 se identifica que el clima es más caliente que antes de 1880, "se reconoció la teoría del efecto invernadero y se estableció el Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) por el Programa medioambiental de las Naciones Unidas y la Organización Mundial Meteorológica, el propósito de esta organización es predecir el impacto de los gases de efecto invernadero teniendo en cuenta modelos previstos sobre el clima, el (IPCC) se reconoce como el grupo de cooperación científica pionero más grande de la historia" (INE, 2004a).

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol, mas aún, el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono proveniente del uso de combustibles fósiles ha provocado que se intensifique el fenómeno y a consecuencia de ello que se acreciente la temperatura global, derritiendo los cascos polares y en consecuencia que se incremente el nivel de los océanos.

El efecto invernadero es causado por el incremento en las concentraciones de los llamados gases invernadero lo cuales se enlistan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Gases efecto invernadero y su contribución al calentamiento global

Gas	Fuente emisora	Tiempo de vida	Contribución al calentamiento (porcentaje)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles, deforestación, destrucción de suelos	500 años	54
Metano (CH ₄)	Ganado, biomasa, arrozales, escapes de gasolina, minería	7 - 10 años	12
Oxido Nitroso (N ₂ O)	Combustibles fósiles, cultivos, deforestación	140 - 190 años	6
Clorofluorocarbonos (CFC 11,12)	Refrigeración, aerosoles, espumas plásticas	65 - 110 años	21
Ozono y otros	Fotoquímicos, automóviles, etc.	horas - días	8

Fuente: (ACRAC, 2006).

El cambio en la temperatura se imputa directa o indirectamente a las actividades humanas, las cuales están liberando gases invernadero sobre la atmósfera terrestre. Por ejemplo el dióxido de carbono se produce cuando se usan combustibles fósiles para generar energía así mismo, cuando por ejemplo se talan bosques también se libera dióxido de carbono.

La contaminación atmosférica

Hoy en día, se le ha imputado directa o indirectamente las diversas formas de contaminación al resultado del desarrollo y progreso tecnológico, alterando el equilibrio de la atmósfera terrestre. Debido a ello, la contaminación se ha convertido en un problema más crítico que en épocas pasadas.

Se sabe que en las grandes ciudades, la contaminación del aire se encuentra relacionada las emisiones de vehículos automotores, así como a las industrias que generan grandes partículas contaminantes que se vierten sobre la atmósfera alterando su composición natural.

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras, las naturales y las antropogénicas.

- a) El primer caso obedece a contaminantes por causas naturales, provenientes fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales, y la descomposición de la materia orgánica en el suelo y los océanos, en tanto que el segundo se encuentra su origen sobre las actividades humanas.

- b) La contaminación atmosférica fundamentalmente proviene de la contaminación industrial por combustión, así mismo, las causas esenciales hoy en día sabemos son la generación de electricidad y el uso de vehículos automotores, de igual forma, existen otros tipos de contaminantes como el plomo y mercurio.

En la tabla siguiente se muestra la proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos tipos de gases contaminantes:

Tabla 4. Porcentaje de contaminación por origen

Contaminante	Antropogénicos	Naturales
Aerosoles	11.3	88.7
SOx	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Fuente: (Marcano, 2006)

Muchos contaminantes provienen de orígenes identificables; por ejemplo "el dióxido de azufre, procede de las centrales energéticas que queman carbón o petróleo, otros contaminantes se forman por la acción de la luz solar sobre materiales reactivos previamente emitidos a la atmósfera, como el ozono, un peligroso contaminante que forma parte del smog, el cual se produce por la interacción de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar (Marcano, 2006).

En los últimos años, el automóvil ha aparecido de manera masiva en las ciudades, lo cuál contribuye al aumento de los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de los gases contaminantes que emiten, los contaminantes más relevantes emitidos por los automóviles son: el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y compuestos de plomo.

La contaminación atmosférica es uno de los problemas medioambientales que se desarrolla con mayor rapidez ya que las corrientes atmosféricas pueden transportar el aire contaminado a todos los rincones del mundo. Los gases que se liberan en la atmósfera producen efectos nocivos sobre los patrones atmosféricos afectando de esta forma la calidad de vida del ser humano así como también de su entorno natural.

En el siguiente capítulo, abordaremos el problema de la contaminación atmosférica en la ZMVM, describiendo sus causas y las acciones que se han llevado a cabo para combatirla.

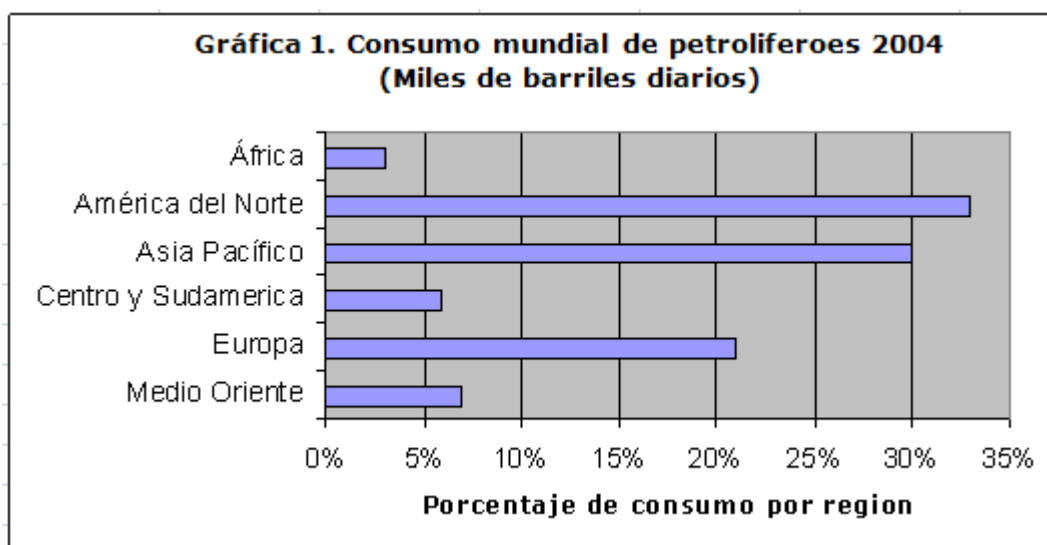
- CAPÍTULO II -

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZMVM

Una atmósfera contaminada puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales, pero, además, los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, fenómenos todos ellos de una gran importancia global.

2.1 La contaminación atmosférica en México.

El consumo mundial por petróleo, para el año 2004 “ascendió a 77,028 mbd” (Secretaría de Energía, 2006), la distribución de consumo aparece en la siguiente gráfica.



Fuente: Secretaría de Energía, Prospectiva de petrolíferos 2005-2014

Con esta cantidad de recursos consumidos y las perspectivas sobre la alta dependencia energética actual, “para el año de 2002, 87.21% de nuestra civilización depende de combustibles fósiles (Secretaría de Energía, 2006).

Los combustibles fósiles se utilizan como fuente primarias para generar la cantidad de energía requerida a nivel mundial, dificultando desarrollar una estrategia adecuada para mitigar los riesgos económicos, ambientales y de salud pública, que tiene consigo este consumo irracional desde la óptica de indicadores, como el PIB ecológico, el cual nos arroja datos sobre el deterioro ambiental, ocasionado por el consumo de hidrocarburos, a la luz de la discusión actual que los perfila como responsables del cambio climático.

Durante los últimos años se ha registrado una tendencia al incremento de la temperatura global, "la mayoría de los expertos están de acuerdo que los humanos ejercen un impacto directo sobre este proceso de calentamiento, generalmente conocido como el efecto invernadero" (Ecoportal, 2006).

Como ya hemos planteado aunado al calentamiento global, el costo que tienen las actividades industriales sobre el PIB, una vez descontado el deterioro ambiental, puede provocar que el crecimiento económico sea negativo, a esto tenemos que sumar las proyecciones de escasez relativa de los combustibles fósiles, como una razón más para pensar que las acciones en busca de fuentes alternativas de combustible, no pueden esperar y como lo han hecho otros países deben estar desde ya, en el centro de las discusiones sobre la planeación energética nacional.

En el entorno local México es el mayor emisor de gases de efecto invernadero provocado por la combustión de combustibles fósiles en Latinoamérica, emitiendo a la atmósfera "673 millones de toneladas de gases de efecto invernadero al año, el país ocupa el sitio 14 en el mundo, con 3 por ciento de las emisiones globales" (González R, 2006).

El impacto esperado por el cambio climático en México comprende desde una acelerada desertificación, incremento en el número de incendios y sequías, temperaturas más altas cada vez y cambios en la intensidad y temporalidad de

las lluvias hacia más intensos huracanes e inundaciones, reducción del abasto de agua e incremento en el nivel del mar.

A nivel nacional, la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial, "las emisiones anuales de contaminantes en el país son superiores a 16 millones de toneladas, de las cuales el 65% es de origen vehicular" (SIMA, 2001).

"El transporte alcanza cerca del 65% del consumo total de petrolíferos" (INE, 2004a), los vehículos de motor se han convertido en la mayor fuente de emisiones en muchos países (por ejemplo, contaminación del aire urbano, lluvia ácida, y gases de invernadero)

La combustión empleada para obtener calor, generar energía eléctrica o movimiento, es el proceso de emisión de contaminantes más significativo. Existen otras actividades, tales como la fundición y la producción de sustancias químicas, que pueden provocar el deterioro de la calidad del aire si se realizan sin control alguno. Los principales contaminantes del aire se clasifican en:

- a) Primarios: Son los que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente. Para fines de evaluación de la calidad del aire se consideran: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

- b) Secundarios: Son los que han estado sujetos a cambios químicos, o bien, son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera. Entre ellos destacan los oxidantes fotoquímicos y algunos radicales de corta existencia como el ozono.

“En nuestro país, la Secretaría de Salud ha establecido normas o estándares para los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), partículas suspendidas totales (pst), partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10) y plomo (Pb)” (Secretaria de Salud, 2006).

Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no debieran sobrepasarse más de una vez por año para que pueda garantizarse que se protege adecuadamente la salud de la población, inclusive la de los grupos más susceptibles: niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias crónicas, entre otros.

Los niveles o concentraciones de los contaminantes en el aire se expresan en unidades como: partes por millón (ppm), partes por billón (ppb) o microgramos por metro cúbico (µg/m³), “dado que estos términos son poco familiares para la mayoría de la población, en México y en otros países se han desarrollado índices de contaminación que se comprenden más fácilmente, en México se usa el *Índice Metropolitano de la Calidad del Aire* o Imeca, según el cual la concentración máxima permisible que señala la Norma de Calidad del Aire para cada contaminante le corresponde a 100 puntos Imeca (Fernández, 2001).

2.2 La contaminación atmosférica en la ZMVM, como producto del desarrollismo Mexicano.

La contaminación atmosférica en la ZMVM

El área metropolitana del Ciudad de México se ha delimitado a partir de los criterios del Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México (POZMVM, 1998), en el que se considera las 16 delegaciones del Distrito Federal, 58 municipios del Estado de México y uno del estado de Hidalgo.

En el valle de México actualmente la contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades de la sociedad. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por las actividades, de transporte, industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias, "cada día, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se vierten a la atmósfera los contaminantes producidos por la combustión de 43 millones de litros de hidrocarburos" (Pacheco, 1996).

Foto 1. Día con poca visibilidad en la Ciudad de México



Fuente: (Molina, 2005a).

Foto 2. Día con buena visibilidad en la Ciudad de México

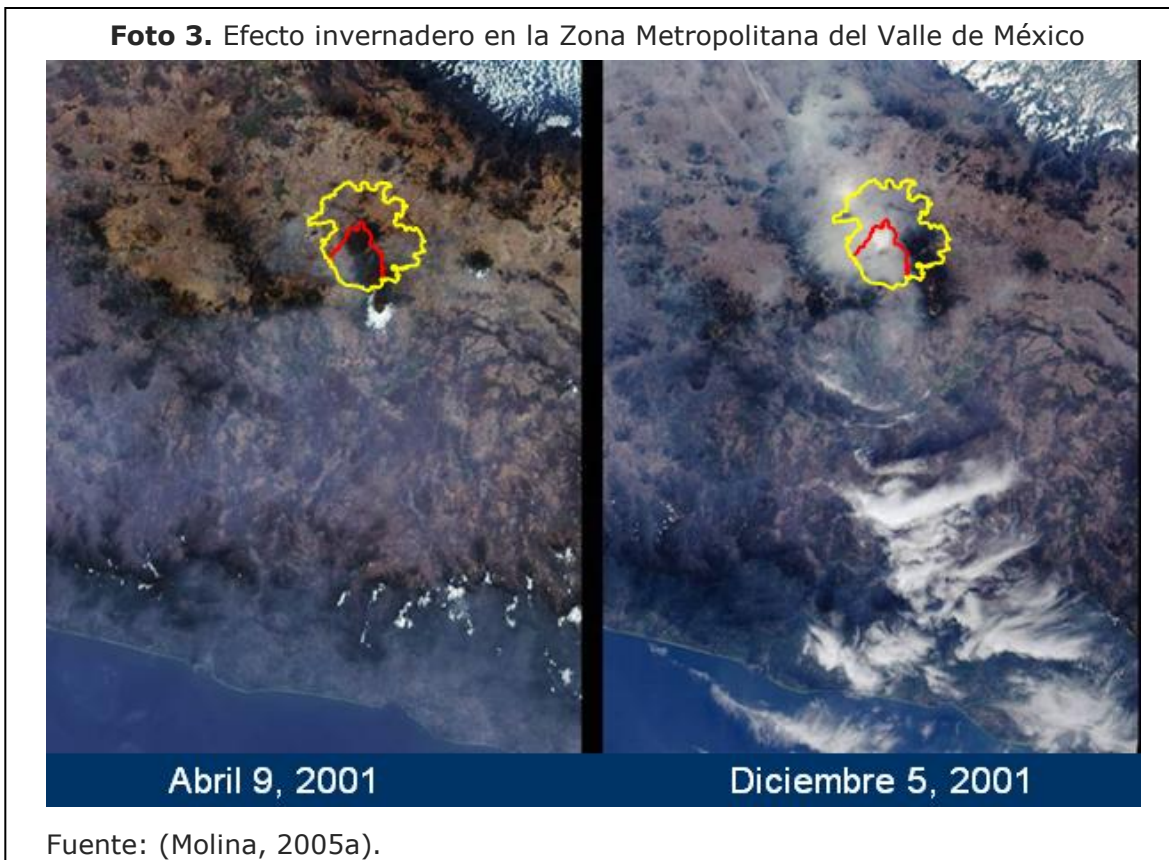


Fuente: (Molina, 2005a).

Los principales contaminantes que alteran la calidad del aire, son el ozono, las partículas suspendidas totales (PST), las partículas suspendidas con un

diámetro menor a las diez micras, llamadas PM10, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, el plomo y el bióxido de azufre.

Estudios realizados en la ZMVM, una de las mayores megalópolis del mundo, han mostrado que hay una estrecha correlación entre la contaminación atmosférica urbana y la aceleración de las enfermedades pulmonares, el proceso de envejecimiento en los pulmones y las infecciones respiratorias. (Molina, 2005b).



Las tendencias de los contaminantes en los últimos años para la ZMVM se describen en los siguientes cuadros:

Tendencias de ozono: Como se observa en el siguiente cuadro, la ZMVM rebasa el valor de la norma horaria, casi en dos tercios de los días del año.

Tabla 1. Días en que se rebasa el valor de norma horaria para ozono (0.11ppm)

Año	ZMVM
1997	322
1998	320
1999	300
2000	323
2001	296
2002	300
2003	284
2004	238
2005	233

Fuente: (INE, 2005).

Tendencias de PM10: A continuación se presenta el número de días por arriba del valor de la norma para PM10 en la ZMVM el número de días ha ido bajando en los últimos años.

Tabla 2. Días en que se rebasa el valor de la norma diaria para PM10 (120 mg/m³, 24 horas)

Año	ZMVM
1997	206
1998	204
1999	41
2000	55
2001	85
2002	51
2003	83
2004	40
2005	34

Fuente: (INE, 2005).

Tendencias de PM2.5: A continuación se presenta el número de días arriba del valor de norma para PM2.5 en la ZMVM como se observa en el siguiente cuadro, la ZMVM rebasa el valor de la norma diaria dos semanas al año.

Tabla 3. Días en que se rebasa el valor de la norma diaria para PM2.5 (65 mg/m³, 24 horas)

Año	ZMVM
2003	8
2004	16
2005	13

Fuente: (INE, 2005).

Tendencias de bióxido de nitrógeno (NO₂): Como se puede observar en el cuadro, en los últimos años solo se han presentado una considerable disminución de (NO₂) en la ZMVM.

Tabla 4. Días en que se rebasa el valor de la norma horaria para NO₂ (0.21ppm)

Año	ZMVM
1997	39
1998	30
1999	19
2000	23
2001	1
2002	0
2003	6
2004	3
2005	3

Fuente: (INE, 2005).

Tendencias de monóxido de carbono (CO): Como se puede observar en el cuadro y las figuras siguientes, los niveles de CO han sido insignificantes en los últimos años.

Tabla 5. Días que se rebasa el valor de la norma para CO (11 ppm, promedio móvil de 8 horas)

Año	ZMVM
1997	1
1998	6
1999	2
2000	2
2001	0
2002	1
2003	0
2004	0
2005	0

Fuente: (INE. 2005).

En los cuadros anteriores hemos descrito los contaminantes más representativos de la ZMVM y su evolución histórica, las tendencias para el 2020 de la evolución de los principales contaminantes para Mario Molina se pueden describir mediante los siguientes indicadores.

Tabla 6. Escenario de Tendencias

Incremento de las emisiones de 2002-2020	
Hidrocarburos totales	23%
Óxidos de nitrógeno	43%
Monóxido de carbono	9%

Fuente: (Molina, 2005b).

El desarrollismo Mexicano

La contaminación en la ZMVM, se encuentra estrechamente vinculada al crecimiento de la población en nuestra ciudad pues, los modelos económicos impuestos en la segunda mitad del siglo XX no hicieron si no concentrar económica y políticamente el poder en la ciudad de México, lo cual explica su acelerado crecimiento, "el crecimiento de la Ciudad de México fue explicado durante un largo periodo como resultado del proceso de sustitución de importaciones" (Covarrubias, 2001).

Uno de los temas centrales del desarrollo reciente de la ZMVM, es la tendencia contradictoria hacia la centralización del poder en su territorio, no obstante que no es más que el único y gran imán para los migrantes y para las industrias y, no obstante, que los cambios políticos en el país, han permitido el resurgimiento de poderes políticos locales, "la razón es que los procesos de globalización de mercados exigen la concentración de economías y facilidades que solo las grandes metrópolis pueden ofrecer" (Iracheta, 2003).

La ZMVM, reúne características estructurales y ventajas comparativas que la colocan como el mayor centro del sistema urbano nacional, de la economía interna de México y las relaciones internacionales, "su mercado interno es el mayor y de más alto ingreso de México, siendo el principal destino, aunque decreciente, del mercado de importaciones, lo que da lugar a un déficit de la balanza comercial externa de la metrópolis" (Iracheta, 2003).

Concentra la mayor parte de los servicios avanzados del país y las actividades de investigación y desarrollo; es el nodo más importante y de transferencia del sistema de comunicaciones y transportes, aunque esto significa la saturación de la infraestructura metropolitana y altos niveles de contaminación atmosférica.

La razón de estos procesos de concentración debe buscarse, por una parte, en la historia mexicana que ha tenido siempre a la ciudad de México como su centro y, más recientemente, en la instauración de políticas y estrategias de supervivencia empresarial frente a los embates de la competencia descarnada y abierta, entre empresas, ciudades, naciones y bloques macro-regionales; también se explica por la necesidad de estrategias más eficientes para generar externalidades y economías de escala, tanto para cada empresa, como para el conjunto metropolitano.

La tendencia a la concentración y centralización de los servicios en grandes ciudades es claramente observable en todas las grandes metrópolis donde los procesos de terciarización han avanzado.

Si se considera que la megalópolis del centro de México, que integra, además de la ZMVM, otras metrópolis regionales, ha elevado el grado de aglomeración, así como el efecto difusor de las ventajas comparativas hacia el conjunto, ampliando las posibilidades de localización de las inversiones, podría suponerse que la ZMVM es una ciudad global, lo que sin embargo, no se sostiene cuando se analiza el área de influencia internacional de la metrópolis, por una parte, y las contra-tendencias convertidas en desventajas comparativas, como pueden ser la contaminación atmosférica y los incrementos en costos de transportación resultado de las aglomeraciones.

2.3 Medidas para disminuir la contaminación atmosférica.

La contaminación del aire ha sido uno de los retos ambientales más serios que han enfrentado los habitantes de la ZMVM, a partir de la segunda parte del siglo XX. Los primeros indicios del problema fueron identificados por investigadores universitarios a finales de la década de los cincuenta, “en la década de los setenta se realizaron algunos esfuerzos gubernamentales para medir los niveles de contaminación y se crearon las primeras instituciones y leyes ambientales del país” (PROAIRE, 2002).

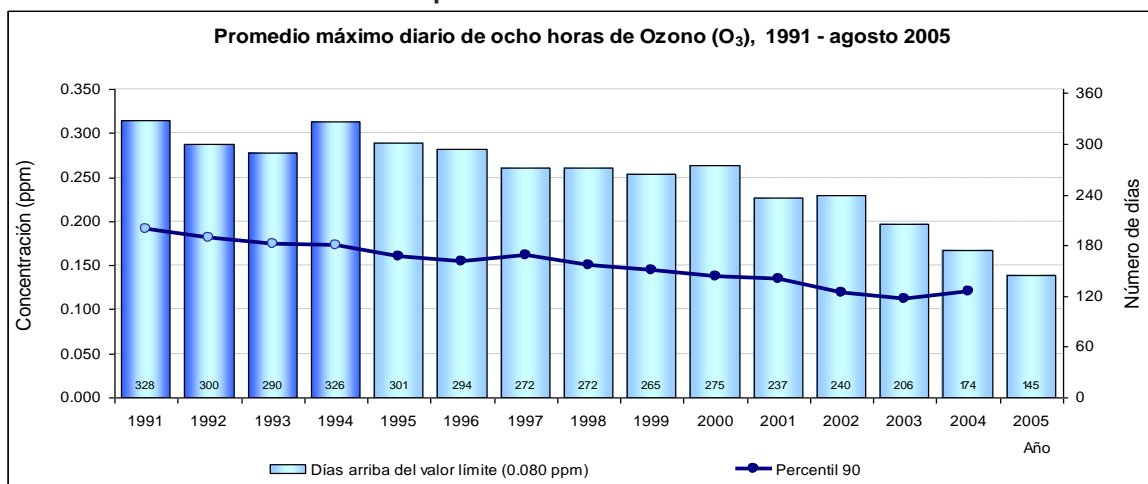
En 1986 se inicia el registro sistemático de los niveles de contaminación, con la instalación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico. Las 21 Acciones para Reducir la Contaminación del Aire y las 100 Medidas Necesarias puestas en marcha en 1986 y 1987, respectivamente, dieron origen a esfuerzos importantes, “entre los que destacaron el inicio de la sustitución de combustóleo con alto contenido de azufre por gas natural en las termoeléctricas y la reducción del contenido de plomo en la gasolina, surgió el programa un día sin auto, una iniciativa voluntaria que más tarde se transformaría en el Programa Hoy No Circula en forma obligatoria” (SMA, 2000a).

En 1990 se lanzó un programa integral para hacer frente a la contaminación atmosférica en el Valle de México, cuyos objetivos eran la mejora de la calidad de los combustibles, la promoción del transporte público, la reducción de las emisiones causadas por vehículos, la industria y los servicios, y la reforestación” (GEO, 2006).

En 1996, la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Secretaría de Salud, el Gobierno del Estado de México y el entonces Departamento del Distrito Federal acordaron la instrumentación del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, conocido como PROAIRE, con el propósito de ampliar, reforzar y dar continuidad a las medidas iniciadas a principios de la década.

El objetivo del PROAIRE estuvo enfocado explícitamente a la reducción de las concentraciones pico y promedio de ozono, con la finalidad de disminuir el riesgo a la salud asociado con la exposición de corto y largo plazo a este contaminante, “para tal fin, y dado que el ozono es un contaminante que se forma en la atmósfera a partir de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, las medidas implementadas fueron dirigidas principalmente a la reducción de las emisiones de estos contaminantes” (SMA, 2000b).

Gráfica 2. Días en que se rebasa el límite de ozono en la ZMVM



Fuente: (Molina, 2005a)

De la tabla anterior podemos observar, que la aplicación de los programas antes descritos no ha sido todo lo exitosa que se quisiera pues la deducción, en días que se rebasa el límite de ozono no representa los esfuerzos realizados por programas como el hoy no circula y la eliminación de combustibles con plomo.

2.4 Cultura y educación ambiental, como métodos para combatir la contaminación en la ZMVM.

¿Es la educación y la cultura ambiental el camino para combatir la contaminación en ciudades como la ZMVM?, existen para este cuestionamiento dos perspectivas, desde las cuales se puede abordar, una micro y otra macro, la primera se refiere al aspecto particular que puede provocar el fomento de la cultura y la educación ambiental, en un aspecto individual, y la segunda que puede entenderse como la capacidad que tienen las investigaciones e innovaciones en materia de combate a la contaminación.

Visión micro sobre la educación y la cultura ambiental como camino al combate a la contaminación: Frente a los agudos problemas ambientales que nos aquejan a varios niveles, la educación ambiental (EA) se convierte en un

trabajo prioritario, sin decir que dichos problemas se resuelvan sólo por el conocimiento y la actitud que tengamos frente a ellos, pero si la realidad es una construcción social, las preguntas que nos hacemos de nuestros problemas y las respuestas que busquemos si dependen de cómo las concebimos (Faladori, González, 2001). De esta manera la educación ambiental, no puede cambiar de la noche a la mañana nuestros problemas pero si es capaz de generar, una mejor conciencia sobre estos y por tanto llevarnos al tipo de respuestas que sean compatibles con el medio ambiente.

En la ZMVM, los problemas del medio ambiente y los recursos naturales se han incrementado en los últimos años, y para enfrentarlos se han llevado a cabo políticas ambientales que buscan detener el deterioro ambiental. Frente a este escenario, la educación ambiental juega un papel fundamental en la búsqueda de una nueva realidad metropolitana (PREMIA, 2001).

Como resultado de lo anterior el "Programa Rector Metropolitano Integral de Educación Ambiental, busca que la educación ambiental considere un conjunto de valores universales en la relación sociedad-naturaleza y que propicie la construcción del desarrollo sustentable, lo cual implica la construcción de un proceso civilizatorio de carácter universal que reconozca y respete la diversidad étnica, que incorpore el enfoque de género y que supere las visiones simplistas de la naturaleza y de la cultura, de esta manera los proyectos y acciones de educación ambiental, en el contexto del (Premia) se aproximan a la realidad o realidades metropolitanas.

Paralelamente al surgimiento de los movimientos ambientalistas como signo de alarma ante el deterioro ambiental y la inadecuada administración de la naturaleza, se reconoce a la *educación ambiental como una de las herramientas necesarias* para la difusión del conocimiento acerca de estos problemas y como una estrategia para revertir sus tendencias (PREMIA, 2001). El PREMIA, se fundamente en los siguientes ejes: contexto, contenidos, reflexión, escenario deseable y papel de los sujetos, así, las nociones de

desarrollo sustentable y de calidad de vida que permiten la definición de los escenarios deseables relativos al entorno socio-natural y de las personas que viven y trabajan en la ZMVM son las directrices fundamentales de los subprogramas y actividades de educación ambiental del PREMIA.

Pese a lo anterior debemos reconocer que los efectos de este tipo de programas, son de largo plazo y la pregunta aquí es si podemos esperar a que estas nuevas generaciones educadas y formadas, en el marco de la educación ambiental y el desarrollo sustentable puedan tomar las decisiones necesarias para atacar la problemática actual.

Si recordamos lo que nos dice el modelo de generaciones traslapadas "OGM, propuesto por Samuelson en la década de los 50's" (Lozano G. F., Villa P. E., Monsalve G. S., 1997), modelo que intenta analizar el comportamiento de distintos agentes nacidos en diferentes épocas, con lo cual se podría equilibrar, la asignación de recursos económicos y problemas ecológicos, no corresponde a la siguiente generación tomar las medidas para atacar los problemas actuales, si no a la generación productiva del presente, esto por dos razones principales, la primera es que la siguiente generación no tomara las decisiones en el corto y mediano plazo, la segunda es que la generación productiva de hoy también vivirá los problemas, que ocasionen sus malos manejos de los recursos naturales, disminuyendo con esto el capital natural actual y por tanto debilitando la capacidad productiva de la próxima generación y por tanto el bienestar en el mediano y largo plazo de la generación que hoy toma las decisiones, así que sin razones altruistas el tomar medidas, es necesario y apremiante a la generación actual.

Visión macro sobre la educación y la cultura ambiental como método para combatir la contaminación: En este punto tenemos que pensar en una educación y cultura ambiental que se traduce en innovaciones tecnológicas que ayuden a contrarrestar los efectos nocivos de la contaminación, para esto debemos remontarnos al modelo de crecimiento planteado por Solow-Swam, el

cual identifica dos fuentes de crecimiento que sirven para explicar tanto las variaciones en el tiempo como las discrepancias entre países en la producción por persona o por trabajador: las diferencias en el capital por trabajador (K/L) y la eficiencia del trabajo, los cuales se ven influenciados en el tiempo por la incorporación de un cambio tecnológico.

En el modelo de Solow la población y el acervo de capital continúan creciendo independientemente sin ningún límite físico impuesto por la dotación de recursos naturales. La única manera de que esto sea posible, es asumir sustituibilidad perfecta entre los recursos naturales y el capital físico gracias al cambio tecnológico exógeno, con la cual el sistema evita llegar al estado estacionario superando el filo de la navaja del modelo de planteado por Harrold y Domar.

El modelo de Solow propone que el mecanismo del mercado propicia la extracción de recursos naturales no renovables de fuente a bajo costo y que el precio del mercado deberá incrementarse a una tasa igual a la tasa de interés compuesto para que el productor decida extraer el recurso en lugar de esperar mejores precios en el futuro. Conforme el yacimiento se agota el precio se incrementa exponencialmente hasta hacer rentable la explotación de otras fuentes a mayores costos de extracción. Adicionalmente se incorpora la existencia de una tecnología capaz de sustituir el recurso no renovable por una fuerte que si lo sea pero a muy altos costos. Esta tecnología se denomina *backstop technology*, que sería traducida como "tecnología límite", tal tecnología entra en funcionamiento tan pronto como los precios del recurso no renovable alcancen un nivel suficientemente alto para hacerla rentable. De hecho dicha tecnología fija un techo al incremento del precio del recurso no renovable y los avances experimentales en ese campo afectarán los precios corrientes del recurso de manera instantánea (Rodríguez, Ruiz, 2001).

De lo anterior podemos observar, que Solow no argumenta que el mercado necesariamente resolverá el problema del agotamiento de los recursos no

renovables, sino que simplemente apunta hacia las condiciones necesarias para que ellos suceda, entre estas condiciones, además de las mencionadas, se encuentra la existencia de una tasa de descuento de mercado que se iguale con la tasa optima a la que la sociedad esta dispuesta a descontar el bienestar de las generaciones futuras.

El modelo de Solow señala a la eficiencia del trabajo, como causa principal del crecimiento, el cual se asigna al *progreso tecnológico*, dicho cambio tecnológico y su difusión, permiten el incremento en la productividad de los factores, por medio de innovaciones en los procesos de producción e incrementando el capital humano el cual sirve para buscar soluciones a los problemas de contaminación e insustentabilidad de los procesos de producción y consumo actuales (Pulido A., 2003).

Cabe resaltar que como se expuso en la primera sección sobre la educación ambiental que denominamos micro, compartimos la visión que dice que la educación no basta pero si se tiene sensibilidad ante la problemática de contaminación actual y esta permea en la educación, seguramente impactara en los futuros desarrollos que se implementen como soluciones ante la problemática actual.

2.5 Deseconomías de escala producto de la contaminación atmosférica en la ZMVM.

En la Zona Metropolitana del Valle de México, "se asienta más del 18% de la población nacional y es la concentración industrial, comercial y financiera más importante del país, producto de un proceso histórico de concentración demográfica y económica y de centralización política, la metrópolis experimenta hoy límites muy importantes a su desarrollo como resultado de la superación de los umbrales de sustentabilidad hidráulica y ambiental y la aparición de importantes deseconomías de aglomeración que afectan las

ventajas comparativas y competitivas que dieron lugar en el pasado a su notorio dinamismo económico" (IVDF, 2006).

Las deseconomías, son una forma de externalidades, las cuales podrían ser asumidas como la influencia de las acciones de una persona en el bienestar de otra. Existen dos tipos de externalidades positivas o negativas. Las externalidades positivas son aquellas que afectan favorablemente a terceros.

Las externalidades son negativas cuando afectan desfavorablemente a los demás, como es el caso de la contaminación.

Dentro de la teoría económica la contaminación del aire aparece como un problema de externalidades entendida ésta como un efecto "donde, debido a la naturaleza actual de las instituciones económicas y sociales, se imponen costes a terceros los cuales no reciben ninguna compensación, o se conceden beneficios a otros por lo cual no se recibe ningún pago" (Ruiz, 2002), esto es que existe un efecto externo cuando los consumidores o productores no sufren totalmente las consecuencias de su comportamiento, y cuando al decidir lo que van a producir o consumir ignoran los efectos de sus decisiones sobre terceros.

"Las externalidades negativas, como por ejemplo la contaminación, asumen una falla del mercado, cabe señalar que como falla del mercado, se entiende por ejemplo cuando los consumidores o productores que contaminan y degradan el medio ambiente no pagan por ello, con su actividad causan un perjuicio a la sociedad en su conjunto, que el mercado sólo tendría en cuenta si los perjudicados se apropiaran de los derechos de propiedad sobre los recursos naturales afectados (el aire, el agua, etc.)" (González, 2003a).

Por lo tanto, en la medida en que nadie pueda hacer valer tales derechos de propiedad y los recursos naturales sean utilizados de manera gratuita por ejemplo, para ser empleados como receptores de emisiones contaminantes, la asignación de recursos producida por el mercado ignorará los daños que la

contaminación causa a terceros. Dando como resultado, que las emisiones contaminantes se produzcan en exceso; es decir, el mercado producirá una asignación ineficiente de recursos, que se orientarán en exceso sobre lo que sería óptimo socialmente hacia las actividades contaminantes (y nada hacia las que permiten disminuir la contaminación, pues ésta tendría un costo nulo para los contaminadores).

En contraste, si los perjudicados pudieran hacer valer sus derechos de propiedad sobre los recursos contaminados, exigirían una compensación por los servicios que éstos prestan como receptáculos de las emisiones contaminantes, de esta forma, "la contaminación entraría en el mercado y, si éste funcionara en condiciones ideales, disminuiría hasta su nivel óptimo, pues la negociación entre los propietarios de los recursos contaminados y los causantes de la contaminación conduciría a la maximización de los beneficios sociales" (González, 2003b).

Así, la contaminación del aire es un ejemplo de una externalidad negativa, en el cual las acciones de un agente económico afectan el bienestar del otro, quién no es compensado por los daños que se le causan.

Por simplicidad abordaremos, únicamente las deseconomías ocasionadas por la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes de la ZMVM, ya que sabemos que los costos ambientales son percibidos ampliamente pero, por su naturaleza, es difícil medirlos, no obstante, hemos encontrado algunos trabajos que pretenden realizar esta tarea y sugieren que estos costos pueden ser significativamente elevados.

En el ámbito nacional e internacional, uno de los problemas que más atención ha recibido es la contaminación atmosférica de la ciudad de México, "se sabe al respecto que los costos en la salud de los habitantes han llegado a ser de \$1,050 millones de dólares por año" (Hurtado, 1992), estos resultados apuntan a que la degradación ambiental pueda ser tan seria, que parte de la

riqueza que creemos estar generando sea tan sólo el consumo de nuestro capital natural.

Para proyectar los costos actuales en la salud de los habitantes de la ZMVM tendremos que considerar el incremento en la población, la disminución en los contaminantes, producto de gasolinhas más limpihas y finalmente el incremento en el número de vehículos automotores para poder estimar los costos presentes y futuros de la contaminación atmosférica sobre la salud.

El parque vehicular en la ZMVM se incremento en 50.48% en el periodo de 1989-2004, "de acuerdo con las estimaciones del Gobierno del Distrito Federal, para el año 2020 se pronostica que el porcentaje de autos que circulan en la ZMVM será 50% superior al que se contaba en 2003" (SMA, 2003).

Lo cual representa aproximadamente un total de 5 millones vehículos automotores emitiendo contaminante a la atmósfera y requiriendo combustibles para su funcionamiento.

"En cuanto al crecimiento demográfico tenemos que resaltar que este a tenido una tendencia a revertirse y los nuevos cálculos indica que como resultado de la conjugación de diversos factores económicos, demográficos metropolitanos y nacionales se manifiesta una disminución de 2.3 a 1.7% en la natalidad, la evolución prevista de la mortalidad y la pérdida neta por migración se sitúan en 0.4% anual, en la ZMVM se espera que la tasa de crecimiento poblacional actual de 1.6% se reduzca a 1.0% en el 2010" (CONAPO, 2005).

La CONAPO prevé que continúe el desplazamiento de la vivienda del centro hacia la periferia en la ZMVM, pasando de una distribución "casi equitativa en 1995 —8.5 millones de personas o 50.5% en el Distrito Federal y 8.3 millones o 49.5% en los municipios metropolitanos— a una mayor concentración en el área conurbada con 11.7 millones (57.5%) en 2010 frente a 8.7 millones (42.5%) en el Distrito Federal" (CONAPO, 2005).

Con los datos anteriores, podemos plantear los escenarios futuros en cuanto a costos ocasionados, por la contaminación atmosférica en materia de salud pública.

Tabla 7. Estimación de población para la ZMVM

Año	Población (millones de habitantes)	Tasa de crecimiento
2010	20.40	1%
2011	20.60	1%
2012	20.81	1%
2013	21.02	1%
2014	21.23	1%
2015	21.44	1%
2016	21.66	1%
2017	21.87	1%
2018	22.09	1%
2019	22.31	1%
2020	22.53	1%

Fuente: Elaboración propia con datos de estimaciones y proyecciones de CONAPO

A continuación presentamos el costo estimado en gasto en salud pública para la zona metropolitana del valle de México, construido a partir de los datos antes expuestos.

Tabla 8. Estimación de gastos en la salud derivados de la contaminación atmosférica emitida por vehículos automotores

Año	Población	Vehículos registrados	Costo en salud de habitantes (Millones de dólares)	Tipo de cambio	Costo en salud de habitantes (Millones de pesos)
1992	13.95	3,020,793	1,050	3.100	3,255
1993	14.33	3,205,066	1,097	3.110	3,410
1994	14.73	2,314,788	957	3.503	3,352
1995	15.14	2,493,232	1,003	6.492	6,513
1996	15.56	2,482,244	1,017	7.599	7,729
1997	15.99	2,623,995	1,058	7.923	8,383
1998	16.44	3,238,105	1,181	9.234	10,910
1999	16.89	3,390,068	1,225	9.566	11,719
2000	17.36	3,387,357	1,242	9.470	11,764
2001	17.64	3,403,805	1,256	9.317	11,699
2002	17.93	3,227,037	1,236	9.716	12,007
2003	18.22	3,304,299	1,260	10.846	13,668

2004	18.52	3,401,484	1,288	11.304	14,563
2005	18.82	3,498,670	1,316	10.931	14,391
2006	19.13	3,595,855	1,345	10.922	14,689
2007	19.44	3,693,040	1,373	10.922	15,001
2008	19.75	3,790,225	1,402	10.922	15,316
2009	20.07	3,887,411	1,431	10.922	15,632
2010	20.40	3,984,596	1,460	10.922	15,951
2011	20.60	4,081,781	1,485	10.922	16,219
2012	20.81	4,178,966	1,510	10.922	16,488
2013	21.02	4,276,152	1,534	10.922	16,758
2014	21.23	4,373,337	1,559	10.922	17,029
2015	21.44	4,470,522	1,584	10.922	17,301
2016	21.66	4,567,707	1,609	10.922	17,574
2017	21.87	4,664,893	1,634	10.922	17,847
2018	22.09	4,762,078	1,659	10.922	18,122
2019	22.31	4,859,263	1,684	10.922	18,397
2020	22.53	4,956,449	1,710	10.922	18,673

Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO e INEGI

A manera de conclusión podemos decir que en la ZMVM, se presentan elevados índices de contaminación atmosférica, que contribuyen a su vez a la contaminación global y perjudican la salud de la población, sus principales causas como hemos descrito antes son:

- a) Acelerado crecimiento industrial
- b) Concentración de la población
- c) Incremento del parque vehicular
- d) Alto consumo de combustibles fósiles

La contaminación atmosférica se produce en gran medida por el consumo de combustibles derivados del petróleo.

Éstos son clasificados en gasolinas, diesel, gas L.P. y natural, gasóleo, siendo los combustibles utilizados por el sector transporte los más representativos.

En este contexto, el transporte es el principal demandante de combustible, concentrando el 53% del consumo energético nacional (SMA, 2004).

Tabla 9. Proporción de los combustibles empleados en e sector transporte en la ZMVM

Tipo de combustible	Energía disponible	
	(PJ)	(%)
Gasolina Premium	29	5
Gasolina Magna	197	36
Gasóleo doméstico	N/S	N/S
Diesel industrial bajo azufre	10	2
PEMEX diesel	59	11
Gas natural	182	33
Gas L.P.	72	11
Total	549	100

Fuente: (SMA, 2004).

Una de las respuestas ante la problemática, que representa el uso de combustibles fósiles y las deseconomías de escala que esta ocasiona, es el uso de hidrógeno como fuente de energía y su transformación en electricidad por medio de las llamadas pilas de combustible, el cual abordaremos en el siguiente capítulo.

- CAPÍTULO III -

¿LA NUEVA "ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO", ALTERNATIVA EN LA ERA DEL FIN DEL PETRÓLEO BARATO?

"¿Se convertirá el hidrógeno en el combustible renovable e inagotable del futuro? Los científicos van tras dos pistas distintas. Una, muy avanzada y en fase de desarrollo, se refiere a las pilas de combustible. La otra, mucho más remota, se refiere a la fusión de núcleos de hidrógeno",
(UE. 2005)

3.1 La nueva economía del hidrógeno y el pico de Hubbert

El término economía del hidrógeno responde a una visión de futuro donde este gas, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el grueso de las necesidades energéticas de la sociedad. "Esta propuesta reduciría la dependencia actual sobre los combustibles fósiles, ya que el hidrógeno podría ser generado a partir de otras fuentes primarias como las renovables o la nuclear. Igualmente se disminuiría la contaminación atmosférica y la emisión de gases de efecto invernadero, puesto que el único residuo generado por una pila de combustible es agua" (San Miguel, Dufour, Calles, Botas, 2005).

"El próximo siglo el hidrógeno formará parte de la economía de los países, ya que este elemento se utilizará para producir una buena parte de energía eléctrica para uso residencial así como en el transporte, los países industrializados gastan millones de dólares en investigación para el desarrollo de celdas de combustible; esta tecnología en 1839, cuando William Grove desarrolló la primera celda de combustible era un sueño, en la actualidad se perfila no como un sueño sino como una buena solución para satisfacer parte de las demandas energéticas y ambientales del futuro, no muy lejano" (CONAE, 2006).

El pico de Hubbert

La teoría del pico de Hubbert¹, avisa desde su creación en 1956 dónde se encuentra el punto temporal a partir del cual las compañías petrolíferas no conseguirán suplir las reservas de crudo que se agotan con el hallazgo de otras nuevas o lo que es lo mismo, el momento en el que la producción de crudo comenzará a decaer.

Actualmente existe todo un debate al respecto y las cifras más pesimistas apuntan al 2010-2020 como el año en el que se alcanzara el pico de la producción, las opiniones más optimistas apuntan al lapso de 2030-2040, sin embargo "el punto crucial del debate no es que se acabe el petróleo por que alcanzar el pico de la producción no implica el agotamiento del recurso pero si una nueva era en la que el petróleo barato se terminara, es decir una vez alcanzado el pico mundial de producción solo podemos esperar un descenso en su producción y un aumento en sus costos de extracción y refinamiento" (Rifkin, 2002).

El descenso en el número de nuevos descubrimientos y el agotamiento de las reservas probadas adquieren todavía más gravedad a la luz del aumento esperado de la demanda de petróleo para las próximas dos décadas, "se espera que la población mundial pasara de 6,200 a 7,500 millones de personas para el año 2020, por lo que la presión sobre las reservas de petróleo no haría más que intensificarse" (Rifkin, 2002).

¹ Fue ideada por el geólogo Marion King Hubbert, de la petrolera Shell para el mercado estadounidense, recopilando datos de pozos del país, sumando todas sus curvas de extracción, esta teoría se confirmó en Estados Unidos, en la fecha prevista: 1970, al ser reconocido su acierto, Hubbert pasó a ser todo un referente durante los años posteriores a la hora de responder la duda más oscura a la que se enfrenta el planeta: ¿cuándo ocurrirá? Pero entonces... ¿hemos llegado al cenit? La respuesta es confusa. Desde luego, Hubbert predijo que la producción de crudo a escala global alcanzaría su máximo a finales del siglo XX, o a principios del XXI, desde entonces caería irremediablemente, y la era del petróleo barato habría terminado.

El aumento de la población traerá consigo una aceleración del proceso de urbanización, eso significa más petróleo para el transporte, la calefacción, la electricidad y la producción agrícola e industrial. Las necesidades energéticas de una población en pleno proceso expansivo impondrán una presión sin precedentes sobre las reservas de crudo restantes.

Resulta difícil siquiera pensar que la población de los países en vías de desarrollo pueda tener acceso algún día a la cantidad de petróleo per-capita del que ha disfrutado Estados Unidos durante la edad de oro del petróleo, "si países como China e India se limitaran a incrementar su consumo de energía hasta el nivel per-capita de Corea del Sur solo estos dos países necesitarían un total de 119 millones de barriles de petróleo al día, lo cual representa casi un 50% más del total de la demanda mundial del año 2000" (Rifkin, 2002).

La llegada del pico de producción petrolero provocaría una escasez de dicho recurso, pero esta escasez sería diferente a todas las sucedidas en el pasado ya que sus causas serían muy distintas, los anteriores períodos de escasez tuvieron más que ver con "razones políticas"² que con problemas reales en la extracción de los recursos.

Los escenarios futuros van desde un probable colapso de la sociedad industrializada hasta los que afirman, no sin cierta fe en ello, que la economía de mercado o las nuevas tecnologías resolverán el problema, nosotros nos contamos dentro de los segundos y creemos que la tecnología capaz de crear nuevas fuentes de energía baratas será la respuesta.

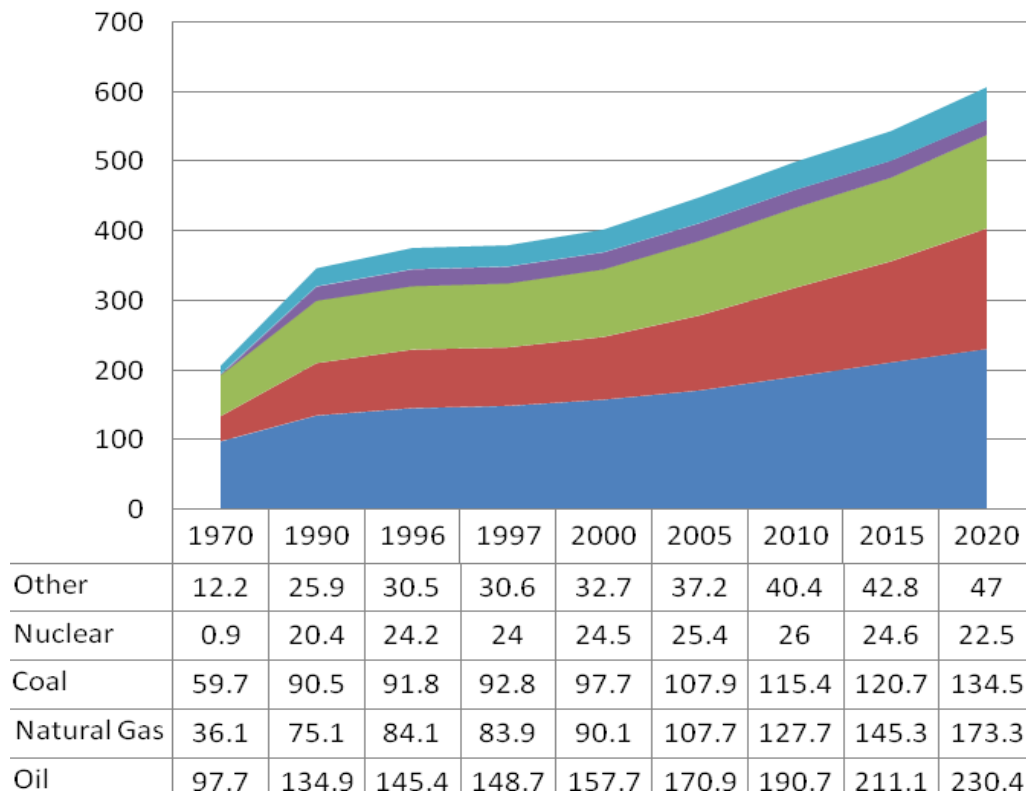
Esta es una situación interesante si observamos que naciones emergentes como China y la India, e inclusive México y Brasil incrementaran su demanda producto del crecimiento económico en dichas economías pero irónicamente

² Esta vez, en cambio, el motivo fundamental será la falta de crudo suficiente para abastecer a toda la demanda. Los efectos y la gravedad de dicha escasez dependerán de lo rápido que decrezca la producción y de si se adoptaron medidas preventivas para adaptar la sociedad al uso de energías alternativas.

parece que este desarrollo llegara tarde pues el pico de Hubbert se acerca y esto no será si no el inicio de un incremento sostenido en los precios del petróleo como lo ilustra la siguiente grafica.

De acuerdo con Jerremy Rifki, en la actualidad, hay alrededor de 1,500 yacimientos grandes y gigantes en el mundo, en suma estos yacimientos contienen el 94% de todo el petróleo crudo conocido, los 400 yacimientos mas importantes contienen entre el 60 y 70% del total, Rifki destaca que desde 1980 solo se han descubierto 41 de estos yacimientos, el punto culminante en el descubrimiento de yacimientos se alcanzo en 1960 y desde entonces ha declinado de manera constante. A continuación presentamos una grafica sobre tendencias de demanda mundial de energéticos:

Gráfica 1. Demanda creciente de energía por tipo de combustible primario: 1970-2020

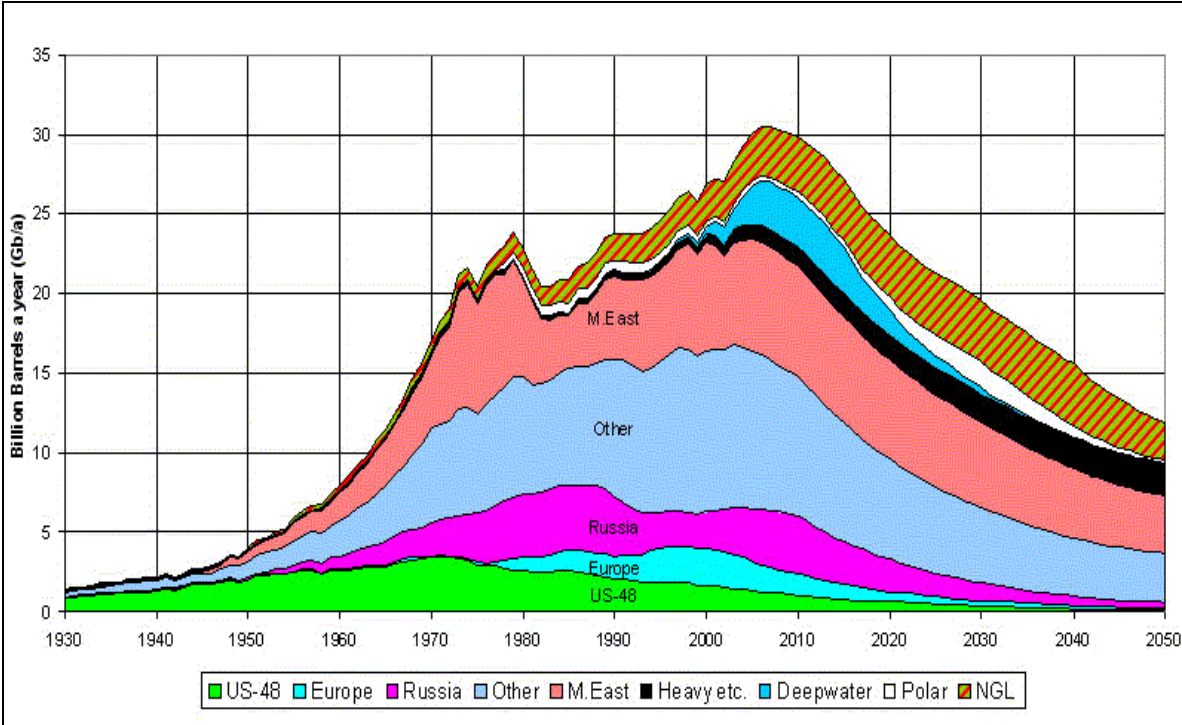


Fuente: (Martínez, 2001)

La creciente demanda de petróleo, tanto en los países industrializados como en el mundo en vías de desarrollo, se puede convertir en el factor más importante dentro de los conflictos geopolíticos del primer cuarto del siglo XXI, "las proyecciones sobre la demanda global de petróleo revelan lo duro que serán los retos que nos esperan, según la agencia EIA la demanda diaria mundial de petróleo aumentara de 80 millones a 120 millones de barriles al día antes de 2020, un aumento del 50% en menos de 20 años" (Rifkin. 2002)

Este incremento en la demanda tendrá efectos directos sobre los costos, las grandes petroleras invierten cada vez más dinero y obtienen menos crudo esto es un reflejo claro del agotamiento y madurez de los yacimientos, "la mayor participación estatal en los países productores llevó a las petroleras a invertir más que antes para obtener menos volúmenes de hidrocarburos, aun así, existe una situación paradójica: por el alto precio del petróleo, sus resultados económicos nunca gozaron de tan buena salud" (ASPO. 2006)

Gráfica 2. Proyecciones de Producción Mundial de Petróleo- ASPO



Fuente: (Lepic, 2006)

“Descubrimientos pequeños y complicados, esa es la agenda que tienen en mente los barones del petróleo a nivel internacional, como la norteamericana Exxon-Mobil, la anglo-holandesa Royal Dutch-Shell Group, la inglesa British Petroleum y la francesa Total” (Fernández. 2006).

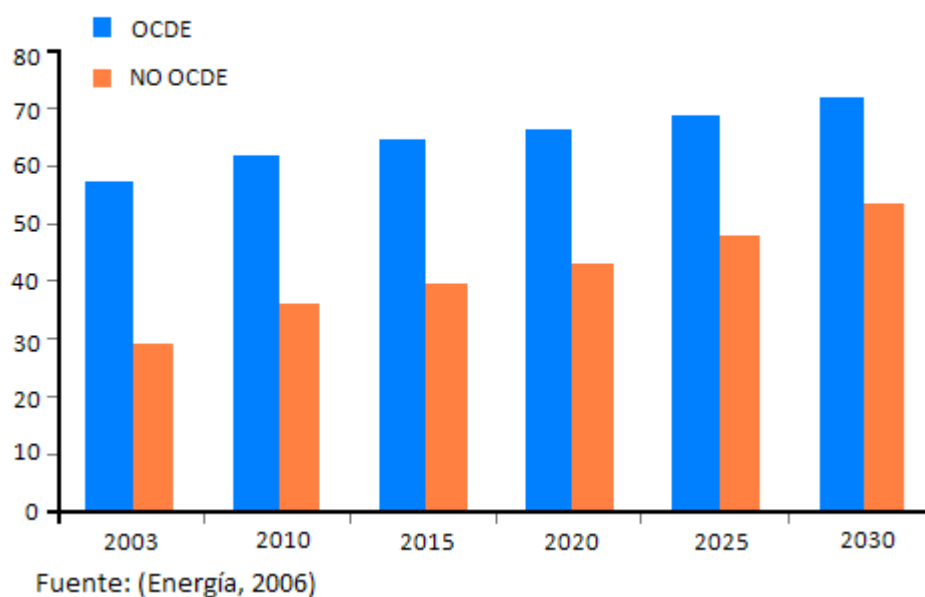
“Si tenemos en cuenta que la demanda mundial de petróleo crudo se sitúa para el año 2002 en 24,000 millones de barriles por año y sigue aumentando, mientras que solo descubrimos menos de 12,000 millones de barriles de petróleo recuperable en nuevos yacimientos en el mismo periodo, e incluso se prevé que esta cifra descenderá de año en año, en otras palabras estamos consumiendo casi dos barriles de petróleo crudo convencional por cada nuevo barril que descubrimos” (Rifkin. 2002)

Tabla 1. El crecimiento anual medio en por países seleccionados y regiones, 1973-2030							
Región	Histórico				Proyecciones		
	1978-2003	2003	2004	2005	2005-2015	2015-2030	2003-2030
OCDE Norte América	2.9	2.5	4.1	3.5	3.1	2.9	3.1
Estados Unidos	2.9	2.7	4.2	3.6	3.1	2.9	3.0
Canadá	2.8	2.0	2.9	2.9	2.6	1.8	2.2
México	2.9	1.4	4.4	3.1	4.0	4.1	4.1
OCDE Europa	2.4	1.4	2.6	1.9	2.3	2.1	2.2
OCDE Asia	3.0	1.9	3.0	2.6	2.3	1.6	1.9
Japón	2.5	1.4	2.6	2.4	1.7	1.0	1.4
Corea del Sur	6.7	3.1	4.7	4.0	4.7	2.8	3.6
Australia/Nueva Zelanda	3.3	3.2	3.6	2.3	2.5	2.4	2.5
Total OECD	2.7	2.0	3.4	2.7	2.7	2.4	2.6
No-OCDE Europa y Eurasia	-0.3	7.7	8.1	6.5	4.9	3.7	4.4
Rusia	-0.5	7.3	7.2	6.1	4.2	3.3	3.9
Otros	0.2	8.0	9.5	7.0	5.9	4.0	5.1
No-OCDE Asia	6.7	7.6	7.8	7.5	5.8	4.9	5.5
China	9.4	9.1	9.5	9.2	6.6	5.2	6.0
India	5.3	8.5	6.9	6.8	5.5	5.1	5.4
Otros	5.4	4.8	6.0	5.4	4.9	4.3	4.6
Medio Oriente	2.6	4.8	6.4	6.7	4.4	3.7	4.2
África	2.9	4.8	5.1	4.9	4.8	4.1	4.4
Centro y Sur América	2.3	2.1	5.9	4.5	3.8	3.5	3.8
Brasil	2.5	0.5	4.9	2.7	3.7	3.3	3.5
Total No-OCDE	3.7	6.4	7.2	6.7	5.3	4.5	5.0

Fuente: International Energy, Outlook 2006)

Este escenario de aumento de la demanda y disminución en las reservas probadas se hace aun más relevante si observamos las perspectivas de crecimiento para las próximas décadas de los países en desarrollo, estos datos son importantes pues de acuerdo a la secretaria de energía el crecimiento económico proyectado por la agencia internacional de energía tiene impactos directos sobre la demanda de energéticos en transporte, esa situación se representa en la siguiente grafica.

Gráfica 3. Consumo final de energía en el sector transportes para países miembros y no miembros de la OCDE, 2003-2030



Para ejemplificar lo que puede suceder, en un futuro próximo, de no encontrar energías alternativas a los hidrocarburos, presentamos el siguiente proverbio:

"Mi padre andaba en camello, yo conduzco un jeep, mi hijo pilotea un jet y mi nieto andará en camello" (Proverbio Árabe)

De lo anterior tendríamos que formular el siguiente cuestionamiento, ¿En los próximos años, el hidrogeno podría convertirse en el motor de una nueva economía, basada en enfoques responsables con el medio ambiente y que nos permita contar con una fuente confiable y segura de energía?

3.2 El hidrógeno y las pilas de combustible

Más que en el uso directo del hidrógeno como combustible, la revolución energética que supone la economía del hidrógeno se basa en el uso de este gas por medio de las llamadas pilas de combustible. El hidrogeno se transforma en energía eléctrica mediante el uso de celdas de combustible o pilas, "una celda de combustible (fuel cell) es un dispositivo electroquímico que genera electricidad y calor combinando hidrógeno y oxígeno sin ninguna combustión" (CONAE, 2006).

Las celdas o pilas de combustible son dispositivos que permiten la conversión de la energía química de una sustancia en energía eléctrica y calor mediante un proceso electroquímico, "esta transformación utiliza directamente la energía libre disponible en el combustible a su temperatura de operación y no está limitada por el ciclo de Carnot, alcanzando rendimientos superiores a los procesos convencionales" (*San Miguel, et al., 2005*)

El cambio en la energía libre de Gibbs de la reacción está relacionado con el voltaje de la pila según:

$$\Delta G = (n)(F)(\Delta V)$$

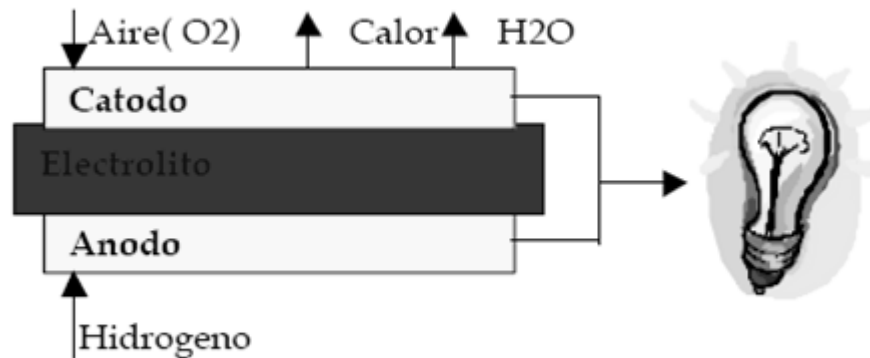
Donde n , es el número de electrones implicados en la reacción, y ΔV es el voltaje generado.

Las pilas de combustible se diferencian de las baterías en que las últimas se pueden considerar dispositivos de almacén de la energía, en función de la cantidad de reactivos químicos que tiene la batería. Cuando estos reactivos se agotan, la batería deja de producir energía eléctrica, mientras que la pila se alimenta de forma continua.

Las celdas de combustible son similares, en funcionamiento, a las baterías que producen corriente directa (CD). Pero a diferencia de éstas una celda de combustible no se agota ni se recarga.

Las celdas de combustible están compuestas por dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito, como en las baterías, las celdas de combustible se agrupan en pilas para obtener un voltaje aceptable así como cierta potencia de salida.

Figura 1. Ejemplo de funcionamiento de una celda de combustible

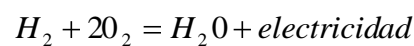


Fuente: (Science & Nasa, 2006)

En una celda de combustible típica, un combustible en estado gaseoso (Hidrógeno), es continuamente suministrado al compartimiento del ánodo (-).

Por otro lado se suministra continuamente un oxidante (Aire) en el compartimiento del cátodo (+). La reacción electroquímica se produce en los electrodos donde se da origen a una corriente eléctrica.

Lo anterior se puede representar con la siguiente ecuación química:



Las celdas de combustible no liberan energía almacenada, esto debido a que la energía eléctrica que se produce por la reacción electroquímica entre el Hidrógeno y el Oxígeno, se tiene que consumir en ese preciso instante.

Tipos de celdas de combustible, la diferencia entre las celdas de combustible radica específicamente en el electrolito que éstas utilicen, de ahí tenemos los siguientes tipos los cuales se aplican al transporte:

- ⌚ AFC (Alkaline Fuel Cell)
- ⌚ PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)
- ⌚ PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

Entre las ventajas que presenta este tipo de dispositivos según (*San Miguel, et al., 2005*), destacan:

- a) Bajo impacto medioambiental, al no haber combustión a alta temperatura, no se producen hidrocarburos sin oxidar, ni óxidos de nitrógeno. El factor de reducción de estos contaminantes químicos varía entre el 99 y 99,5 % (según el método de obtención del hidrógeno), asimismo, al ser un sistema de alta eficiencia, las emisiones de dióxido de carbono por Kwh., se reducen drásticamente, si el hidrógeno se obtiene a partir de fuentes renovables las emisiones netas serían nulas, en aplicaciones portátiles y de transporte, sólo se emite agua como producto, en el punto de utilización de la energía.
- b) Por otro lado y debido a que no tiene partes móviles, el nivel de contaminación acústica es muy reducido (< 45 db a 10 m) y puede ubicarse en lugares densamente poblados.
- c) Eficiencia, son más eficientes que cualquier sistema convencional ya que no están sujetas a las restricciones del factor de Carnot, (la

eficiencia de las máquinas de combustión interna o de vapor (más ampliamente utilizadas) está limitada por las temperaturas a las cuales el calor es suministrado (T_1) y eliminado (T_0), de acuerdo con el ciclo de Carnot)

Las celdas de combustible podrían reducir dramáticamente la contaminación del aire, siempre y cuando se tenga una población significativa de vehículos con esta tecnología. Además se podría hablar de un aumento en la eficiencia con la que se utilizan los energéticos así como de un nuevo mercado que seguramente demandará nuevos empleos así como especialistas en la materia.

3.3 Barreras actuales a la utilización del hidrógeno

Pese a que se están realizando importantes avances tecnológicos, la implantación de la economía del hidrógeno no es inmediata y requiere aún dar respuesta a importantes retos tecnológicos, económicos y sociales que se describen a continuación.

“Desde el punto de vista de la producción del hidrógeno, hay que considerar que los métodos actuales resultan costosos y se basan principalmente en la gasificación de combustibles fósiles a altas presiones y temperaturas. Los procesos basados en energías renovables o energía nuclear no se encuentran suficientemente desarrollados y a nivel industrial su coste es aún mayor” (*San Miguel, et al., 2005*).

Por otro lado, para dar respuesta a una demanda global de este tipo de energía, se necesitaría el desarrollo de un sistema de distribución de hidrógeno similar al que existe hoy en día para la gasolina.

El almacenamiento supone otro reto aún por resolver ya que, debido a su baja densidad energética, se necesitan enormes volúmenes de hidrógeno para alimentar procesos con alta demanda energética. En la actualidad se investiga

en el desarrollo de tanques de alta presión, adsorbentes porosos e hidruros metálicos que permitan almacenar cantidades suficientes de este compuesto en espacios reducidos.

El precio actual de las pilas de combustible y su fiabilidad supone otra barrera a la aplicación masiva de esta tecnología. "El uso de electrodos con catalizadores de metales nobles como el paladio y el platino, con un elevado precio de mercado, y los problemas de envenenamiento, sobre todo en procesos que utilizan hidrógeno de menor pureza, también son objeto de investigación" (*San Miguel, et al., 2005*).

Otro de los aspectos a superar es el de la seguridad ya que el hidrógeno es un compuesto altamente inflamable y potencialmente explosivo en contacto con el oxígeno de la atmósfera. Por ello se deben adoptar normativas de seguridad específicas que son diferentes a las que hoy se aplican con éxito para otros compuestos como la gasolina, el butano o el gas natural.

El hidrógeno es el elemento más abundante del Universo. Sin embargo, no existe en la Tierra en su estado natural sino que es necesario producirlo a partir de otros recursos, y en el proceso hay que consumir alguna fuente de energía primaria. La más beneficiosa para el medio ambiente es la que consigue el gas a partir del agua (H₂O). Pero, esta fórmula, según algunos expertos, todavía no es rentable.

Hoy, se produce hidrógeno a partir del gas natural, que también lo contiene en gran cantidad y que resulta mucho más barato, el gas natural es un hidrocarburo y emite CO₂ en el proceso de conversión. Las organizaciones ecologistas afirman que "el hidrógeno es limpio sólo, si lo son los métodos empleados para producirlo, únicamente, con una producción de energías renovables a gran escala puede lograrse una economía del hidrógeno sostenible; sin ellas, el hidrógeno es sucio" (*García, 2003*).

En México, como en el resto del mundo el gran dilema, es poder generar hidrógeno a partir de fuentes limpias, así que la forma más factible es generarlo a partir de gas natural lo cual resulta en hidrógeno que ayuda a solucionar parte del problema pero no en su totalidad como sería si se pudiera generar mediante energía fotovoltaica o eólica sin embargo sus costos por el momento hacen poco factible esto.

3.4 La experiencia de Estados Unidos y la Unión Europea

Las celdas de combustible podrían reemplazar a los motores de combustión interna en el futuro, de hecho existen prototipos de autobuses y autos que circulan en: Estados Unidos y la Unión Europea.

La experiencia en Estados Unidos

En Estados Unidos la empresa líder productora de celdas de combustible es "Ballard" la cual muestra los siguientes datos en su página electrónica respecto de la implementación de celdas de combustible en este país, (Ballard. 2006)

- a) Ballard, trabaja conjuntamente con empresas con empresas automotrices como Daimler-Chrysler y Ford
- b) Otras automotrices como: GM, Volkswagen, Honda, Nissan y Volvo utilizan las celdas de Ballard en sus prototipos
- c) Ballard se encuentra en la tercera fase de cuatro en lo que se refiere a su autobús llamado NEBUS (New Electric BUS), actualmente se tienen 3 de estos vehículos en operación en la ciudad de Chicago, los cuales tienen una potencia de 275 HP, pueden transportar a 60 pasajeros y tienen una autonomía de 400 km, a partir del año 2003 se comercializan estos vehículos.

En lo que se refiere a autos, "Daimler-Chrysler cuenta con la cuarta generación de su NECAR (New Electric CAR) el cual alcanza unos 180 km/h y tiene una autonomía de 450 km, desde 2004 se inicio la producción", (Daimler-Chrysler, 2006).

Ford Motor Company, por su parte, utiliza celdas de combustible de Ballard para su proyecto P2000 y su prototipo con esta tecnología esta listo y en evaluación desde el año 2000

Adicionalmente a lo anterior la empresa, "International Fuel Cells cuenta con una celda del tipo PEM de 50 Kw., que utiliza hidrógeno y aire del ambiente, este sistema tiene un volumen de 9 pies cúbicos lo que la convierte en ideal para montarlo en un automóvil", (IFC & CAFCP, 2006).

Estados Unidos actualmente cuenta con el Programa de Hidrógeno como Combustible (Hydrogen Fuel Initiative), "en su discurso sobre el Estado de la Nación del 2003, el Presidente Bush anunció un Hydrogen Fuel Initiative con un valor de \$1,200 millones para desarrollar tecnología para celdas de combustible que utilizan hidrógeno, las cuales proporcionarían energía a los autos, camiones, casas y empresas sin contaminación alguna ni gases de invernadero" (White House, 2007).

Por medio de alianzas con el sector privado, el programa (Hydrogen Fuel Initiative) y aquellos relacionados de (FreedomCAR) harán que sea práctico y económico el uso de vehículos no contaminantes con celdas de hidrógeno para el 2020, "el presupuesto para el 2007 proporcionará \$289 millones, un aumento de \$53 millones por encima de lo asignado en el año fiscal 2006, para acelerar el desarrollo de celdas de hidrógeno y autos económicos que funcionen con hidrógeno, por medio del programa (Hydrogen Fuel Initiative), el costo de una celda de hidrógeno se ha reducido en más 50% en apenas cuatro años", (White House, 2007).

En Estados Unidos, actualmente se plantea la necesidad de actuar para reducir la dependencia de fuentes extranjeras de energía, "hay aproximadamente 250 millones de vehículos en las carreteras del país, y los estadounidenses comprarán más de 17 millones de vehículos en el año 2007, tomará aproximadamente 15 años cambiar los autos de Estados Unidos a tecnología de consumo más eficiente de combustible", (White House, 2007).

La experiencia en la Unión Europea

De acuerdo con el Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI), fundación del Ministerio de Ciencia y Tecnología español, el hidrógeno se perfila a largo plazo como el combustible alternativo a los actuales derivados de recursos fósiles y su uso contribuirá a asegurar el suministro necesario de energía, permitiendo diversificar las fuentes y reducir las emisiones relacionadas con el cambio climático.

En Europa existe actualmente, La Plataforma Tecnológica de Hidrógeno y Celdas de Combustible, "The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform" el cual tiene como objetivos facilitar la utilización de hidrogeno en vehículos automotores.

- a) Facilitar y acelerar el desarrollo y la utilización de sistemas energéticos y tecnologías de componentes basados en pilas de hidrógeno y combustible con un coste competitivo, para su aplicación en el transporte y la energía estacionaria y portátil.
- b) Facilitar la coordinación eficiente de los programas e iniciativas de investigación y desarrollo europeos, nacionales, regionales y locales.
- c) Asegurar la participación equilibrada y activa de los principales agentes (industria, comunidad científica, autoridades públicas, usuarios y sociedad civil) y ayudar a la concienciación de las

oportunidades del mercado y los escenarios energéticos de las pilas de combustible e hidrógeno.

“La plataforma y sus actividades contribuyen a una estrategia integrada para acelerar la creación de una economía sostenible del hidrógeno en Europa, concepto promocionado por la Comisión el 10 de Septiembre de 2003” (HFP, 2006)

“Actualmente se producen en el mundo 45 millones de toneladas de hidrógeno y se estima que en el 2040, sólo para las aplicaciones en automoción, se necesitarán 150 millones de toneladas en los Estados Unidos” (OPTI, 2007), los expertos consideran que, entre el 2015 y el 2019 asistiremos al desarrollo de una red de distribución y de la infraestructura necesaria que permita el suministro de hidrógeno al por menor a usuarios finales particulares para automoción y aplicaciones portátiles.

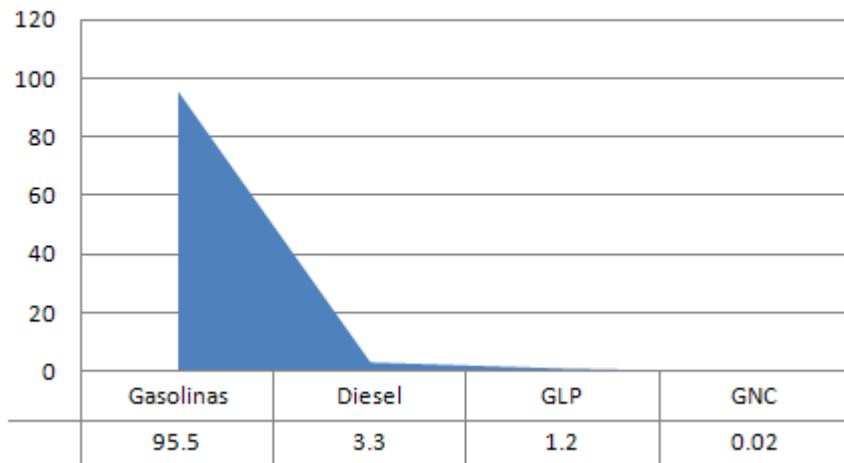
“En 2020 se espera que existan en Europa en torno a 9 millones de automóviles propulsados por hidrógeno, lo que supone el 5% del parque móvil, para ello, en esta fecha la Unión Europea deberá disponer de un mínimo de 5.000 a 10.000 estaciones de servicio de hidrógeno y, en España, la cifra rondará las 500 a 1.000 estaciones”, (OPTI, 2007).

El número de estaciones de servicio de hidrógeno aumentará a medida que crezca el número de vehículos propulsados por hidrógeno que “se prevé pasará de algunas decenas de miles en 2010 a unos 500.000 vehículos en 2015 y alcanzará una cifra que puede oscilar entre los 2 y los 9 millones de vehículos en 2020” (OPTI, 2007), este dato implica que en el horizonte del 2020 la Unión Europea debería disponer de un mínimo de “5.000 a 10.000 estaciones de servicio de hidrógeno, el 75% en torno a los grandes núcleos urbanos y el 25% a lo largo de las autopistas y autovías”. (OPTI, 2007).

3.5 Viabilidad del Hidrógeno en México

Para comenzar con este apartado la siguiente grafica nos ilustrara sobre lo relevante que es el encontrar sustituto a los hidrocarburos en cuanto a combustibles para vehículos en nuestro país.

Gráfica 4. Participacion del parque vehicular por tipo de combustible en México.



Fuente: (Energía, 2006)

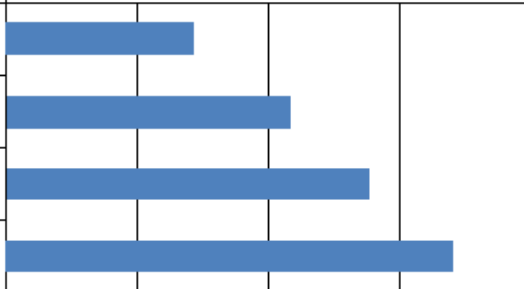
La Secretaria de Energía estima que en nuestro país es necesario que pase más de una década para contar con un parque vehicular híbrido³.

Para lograr este propósito, es importante que, tanto las autoridades como la sociedad, perciban e impulsen de manera clara las ventajas tecnológicas de estos vehículos y sus limitantes.

El siguiente gráfico muestra la eficiencia promedio por tipo de vehiculo como se puede observar el hidrogeno tiene una eficiencia 3 veces superior al de la gasolina y esto en si mismo representa un ahorro pues puede recorrer 3 veces la distancia que recorre un auto normal con la misma cantidad de combustible.

³ Vehiculo hibrido es aquel que combina la utilización de gasolina convencional y de una celda de energía alimentada por hidrogeno.

Tabla 2. Eficiencia general en vehículos

Combustible	Tanque a rueda eficiencia de vehículo (%)	Eficiencia general (%)		
		10	20	30
Gasolina	16			
Electrico	80			
Hibrido (gasolina)	30			
FCHV (hidrógeno comprimido)	48			

FCHV: Vehículos Híbridos de Celdas de Combustibles

Fuente: (Energía, 2006)

La tecnología híbrida es una opción a las estrategias planteadas por las autoridades a fin de ayudar a revertir los efectos del cambio climático, no obstante, su incorporación masiva a nuestro país esta en función de varios aspectos:

- a) Precios competitivos de las unidades híbridas que permitan un uso más generalizado.
- b) Un alza constante en los precios de los combustibles, principalmente gasolinas, lo cual incitaría al consumidor a la adquisición de este tipo de vehículos.
- c) Incentivos gubernamentales para adquisición.
- d) Renovación del parque vehicular.
- e) Regulación en la importación de autos.
- f) Promover una cultura ambientalista.
- g) Información y promoción sobre la misma.

Como se ha apuntando en este capítulo la Unión Europea y Estados Unidos invierten grandes cantidades de recursos para investigación y desarrollo de Celdas de Combustible, esta misma situación se repite con las grandes empresas automotrices, por tanto, podríamos pensar que es tarde para buscar

el desarrollo de tecnologías propias, pero es importante pensar en la forma de generar el hidrógeno necesario para su utilización en vehículos automotores.

Bajo lo anterior y atendiendo las prospectivas de la secretaria de energía en tanto a la transición para la utilización de autos con celdas de combustible, consideramos importante observar el estado que guarda la producción nacional de hidrógeno.

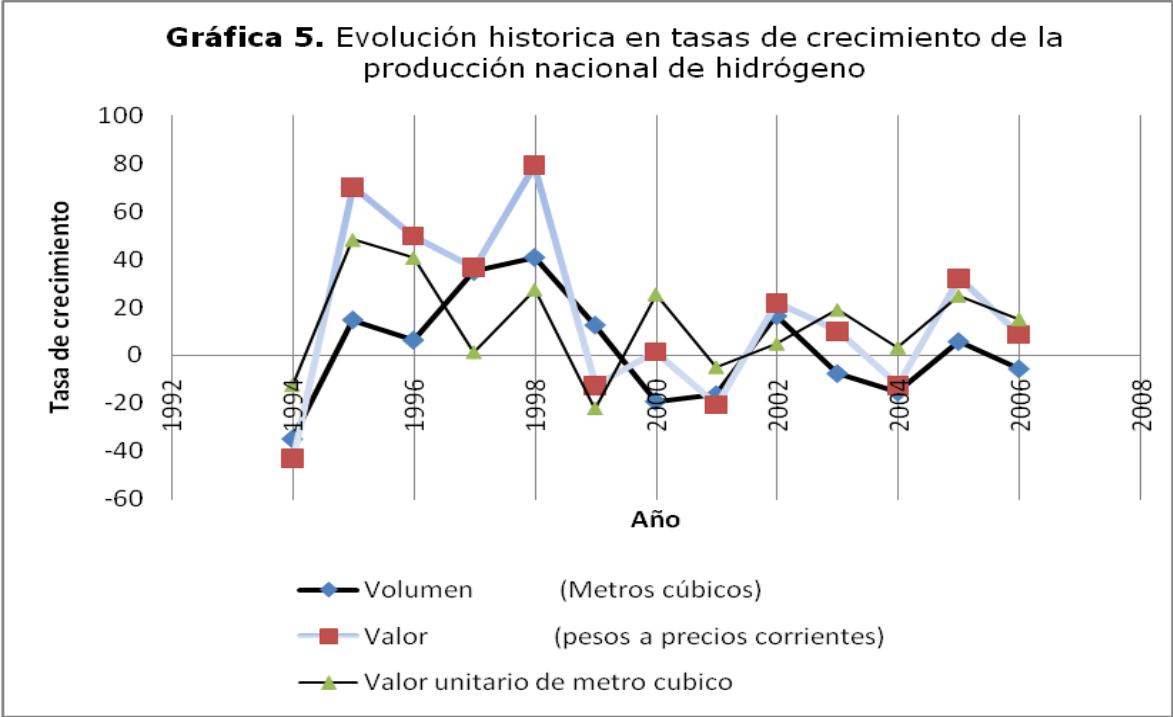
Tabla 3. Evolución histórica de la producción nacional de Hidrógeno

Periodo	Volumen (Metros cúbicos)	Valor (pesos a precios corrientes)	Valor unitario de metro cubico
1994	455.00	\$858.00	\$1.89
1995	522.00	\$1,459.00	\$2.80
1996	555.00	\$2,183.00	\$3.93
1997	748.00	\$2,982.00	\$3.99
1998	1,052.00	\$5,344.00	\$5.08
1999	1,184.00	\$4,680.00	\$3.95
2000	958.00	\$4,751.00	\$4.96
2001	802.00	\$3,779.00	\$4.71
2002	933.00	\$4,607.00	\$4.94
2003	863.00	\$5,071.00	\$5.88
2004	731.00	\$4,437.00	\$6.07
2005	773.00	\$5,859.00	\$7.58
2006	730.00	\$6,370.00	\$8.73

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

“Un metro cúbico equivale a nivel del mar a un kilogramo, el cual equivale en poder energético a un galón de gasolina” (AIE, 2006).

Debemos tomar en cuenta que estos precios son los reportados directamente por las empresas productoras así que son precios de mercado no de producción.



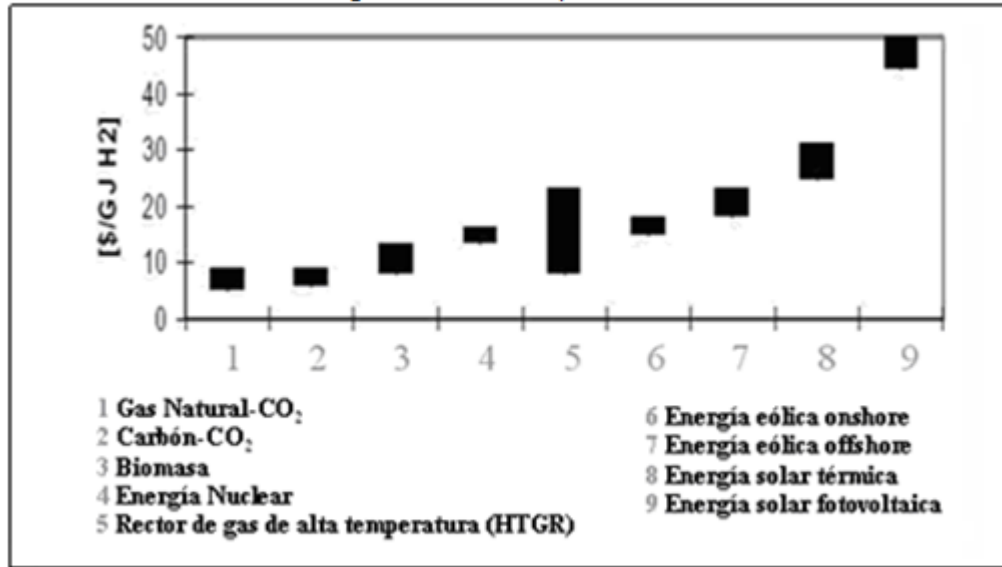
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

La producción del hidrógeno a partir de la materia prima (hidrocarburos o agua) necesita de importantes cantidades de energía, las investigaciones se centran ahora en saber si es posible el empleo de energías renovables sin carbono, (descomponer el hidrógeno del agua a partir de energía fotovoltaica, eólica, hidráulica o geotérmica).

Actualmente, la forma más rentable de producir hidrógeno es la reformación de vapor, según el Department of Energy de los Estados Unidos, en 1995 el costo fue de US\$ 7,00 por "gigajoule"⁴ (GJ) en grandes plantas de producción. (Clean Air, 2006)

⁴ Un gigajoule equivale a 277,777777777778 Kilowat-hora

Gráfica 5. Costo de producción de hidrógeno según método de producción



Fuente: International Energy Agency (IEA)

La gráfica anterior, muestra las diferencias en los precios que existen actualmente para producir hidrógeno según tipo de tecnología aplicada.

Esto supone un costo para el gas natural de US\$ 2,300 por gigajoule, la producción de hidrógeno por electrólisis usando costos de hidroelectricidad en tarifas de período bajo oscila entre los US\$ 10,000 a US\$ 20,000 por gigajoule." (Clean Air, 2006)

Estimaciones de los precios, para producir hidrógeno en 1998, excluyendo impuestos:

Tabla 4. Costos por tecnología de producción de hidrógeno

Fuente	Centavos de euro/kWh	US\$/GJ
Gas natural	05-06	13-16
Madera	14-20	36-52
Electrólisis (energía solar) LH ₂ /GH ₂	26/21	67/54
Electrólisis (energía hidroeléctrica) LH ₂ /GH ₂	12-10	31/25

Fuente: Datos de (Clean Air SIMA, 2006).

Como podemos ver, atendiendo a razones puramente económicas, la implantación del hidrógeno en México, en este momento no es viable, sin embargo, debemos recordar, que en el futuro cercano la producción mundial de petróleo, no será suficiente para abastecer la creciente demanda, a partir del pico de Hubbert, lo cual inevitablemente conducirá a un incremento de los precios de los hidrocarburos, por tal razón estamos ante una reducción de los precios de producción del hidrógeno y un incremento en los precios de los hidrocarburos, por tal motivo podemos esperar que en esta coyuntura el hidrógeno se convierta en una opción económicamente aceptable en un futuro cercano.

Por otra parte, los costos de la utilización de hidrocarburos no son únicamente, económicos, debemos recordar que a la par de esto, se encuentran los inmensos costos ambientales y de salud pública, como una razón más para buscar la implantación de energías alternativas como el hidrogeno.

En el siguiente capítulo, realizaremos una evaluación social, de la utilización de hidrógeno, donde esperamos sus beneficios superen a sus costos con lo cual, podríamos aceptar la hipótesis de esta tesis.

- CAPÍTULO IV -

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA UTILIZACIÓN DE GAS HIDRÓGENO COMO INSTRUMENTO QUE PERMITA LA COMPATIBILIDAD DEL DESARROLLO ECONÓMICO Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA ZMVM.

"Estamos a pocos años de un colapso energético que arrastrará al país entero a una hecatombe económica como nunca antes hemos experimentado, lo que urge es preparar la transición a una economía post-hidrocarburos, no sólo para hacer frente a la urgente tarea de reducir las emisiones de gases invernadero, sino para sobrevivir, esa transición requiere de un proceso de cambio técnico sistémico en la industria (incluyendo el sector energético), el transporte y en el consumo residencial" (Nadal, 2007).

4.1 Marco legal para la implantación de energías limpias en México.

El contexto en el que se enmarca la implantación de energías limpias en México es el siguiente de acuerdo a (SMARNAT, 2004):

- a) El Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 considera que el desarrollo debe ser limpio, preservador del medio ambiente y reconstructor de los sistemas ecológicos hasta lograr la armonía de los seres humanos con la naturaleza.
- b) Desde finales del siglo XIX la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera se ha incrementado debido a las emisiones resultantes de actividades humanas, tales como la quema de combustibles y procesos de deforestación
- c) El aumento de la temperatura media global terrestre podría ocasionar cambios en los patrones de precipitación un incremento en el nivel medio del mar y una mayor incidencia de temperaturas extremas sequias, tormentas, inundaciones, plagas e incendios.

-
- d) La mitigación del cambio climático requiere un esfuerzo global, y que los países en desarrollo cuentan con opciones para la reducción de emisiones de gases de invernadero y captura de carbono comparativamente económicas en el contexto mundial.
- e) México firmo y ratifico la convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático y su protocolo, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 7 de mayo de 1993 y el 24 de noviembre de 2000, cuyo propósito es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida una interferencia humana peligrosa en el sistema climático.
- f) El protocolo de Kyoto en su artículo 12 establece el llamado "Mecanismo de Desarrollo Limpio" (MDL) con el objeto de ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sustentable y contribuir al objetivo ultimo de la convención, así como ayudar a los países desarrollados a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- g) El protocolo de Kyoto y los acuerdos de Marrakech establecen que los países que deseen participar en proyectos del MDL, deberán designar una Autoridad Nacional cuyas funciones, entre otras, esta la de emitir cartas de aprobación respecto de proyectos de reducción y captura de emisión de gases de efecto invernadero.
- h) México cuenta con un potencial importante de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de captura de carbono, que podría traducirse en oportunidades para desarrollar proyectos en el marco del MDL y de otros esquemas similares.

-
- i) Dichos proyectos podrían aportar el ingreso de fondos adicionales a sectores estratégicos y actividades prioritarias del país, así como constituir vías para la transferencia de tecnologías apropiadas.
 - j) El MDL y esquemas similares representan una oportunidad para que México contribuya a la mitigación del cambio climático global, en beneficio propio y de la humanidad y al impulso del desarrollo sustentable del país.

En México actualmente existen los siguientes instrumentos legales bajo los cuales se inscribe el desarrollo de energías limpias, estos instrumentos fueron implementados en el gobierno pasado y el actual aun no ha dado a conocer sus nuevos lineamientos, sin embargo no hay señales que hagan pensar en un cambio de rumbo.

Comisión Intersectorial Denominado Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de gases de Efecto Invernadero, publicado en el Diario Oficial de la Federación el viernes 23 de enero de 2004, las principales funciones de este comité se describen a continuación, (SEMARNAT, 2004)

- I. Fungir como Autoridad Nacional Designada para fines relativos a la convención marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climática y su Protocolo de Kyoto.
- II. Emitir, con base en los procedimientos publicados a través de la secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales en Diario Oficial de la Federación, la carta de aprobación para proyectos de reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero, dado constancia de que los mismo promueven el desarrollo sustentable del país.

-
- III. Intercambiar comunicaciones con el Secretariado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático a través de la secretaria de relaciones exteriores, viernes 23 de enero de 2004 DIARIO OFICIAL (Segunda Sección).
 - IV. Dar seguimiento a los trabajo de la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, a las decisiones relevante de la conferencia sobre cambio climático, de la reunión de las partes del protocolo de kyoto, así, como a los mercados internacionales de reducción de emisiones y captura de carbono.
 - V. Realizar tareas de difusión sobre la operación del Comité, de los proyectos y del MDL.
 - VI. Promover y facilitar el desarrollo de proyectos.
 - VII. Desarrollar funciones de registro de proyectos, así como de reducciones y captura de emisiones de gases de efecto invernadero.
 - VIII. Promover la suscripción de memorandos de entendimiento y acuerdos de colaboración en asuntos relativos a proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de captura de carbono.
 - IX. Establecer y revisar periódicamente su Plan General de Trabajo.
 - X. Emitir sus reglas de operación con el fin de regular su organización y funcionamiento.

Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), aprobada en diciembre de 2005 en la Cámara de Diputados la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), (SENER, 2006).

-
- a) En la que se establece la creación de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.
 - b) Se define como meta para el 2012, un porcentaje mínimo de participación de las ER en sus distintas modalidades, respecto a la generación total de electricidad, del 8%, sin incluir las grandes hidroeléctricas.
 - c) La SENER elaborará y coordinará la ejecución del Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.

Contrato de interconexión para autoabastecimiento y otros instrumentos, A fin de promover el desarrollo de proyectos privados de energía en la modalidad de autoabastecimiento mediante ER del tipo intermitente, la CRE aprobó instrumentos de regulación que consideran la disponibilidad intermitente del energético primario. (SENER, 2006).

- a) La materia de estos instrumentos comprende la energía eólica, la solar y la hidroelectricidad con almacenamiento o disponibilidad de agua limitada.
- b) Con estos instrumentos se permite al auto abastecedor inyectar a la red de transmisión del suministrador la energía eléctrica generada, cuando se cuente con el energético primario, para ser consumida por sus centros de consumo cuando éstos lo requieran.

Iniciativa para modificar la Ley del Impuesto Sobre la Renta (SENER, 2006):

- a) Propone un nuevo estímulo fiscal que promueva la inversión y uso de ER para vivienda, que consiste en un crédito fiscal del 30% a la inversión en equipos para la generación de energía proveniente de ER.

Proyecto de Ley Especial sobre Producción y Servicios (SENER, 2006):

- a) Propone establecer un impuesto especial del 0.5% a las enajenaciones o importaciones de energía eléctrica, y que los recursos recaudados se destinen al fomento de las ER en la generación de electricidad.

Iniciativa para modificar la Ley Federal de Derechos (SENER, 2006):

- a) Pretende que los combustibles fósiles paguen un derecho en función del Bióxido de Carbono (CO₂) liberado en su combustión, gravando su consumo, bajo el principio de que "el que contamina paga".
- b) Para combustibles líquidos, propone derechos de 0.52¢ a 0.97¢ de peso por litro, y un mayor gravamen para los combustibles sólidos.
- c) Para el gas natural propone 19.7¢ de peso por millar de pies cúbicos.
- d) Los ingresos recaudados se destinarían a la promoción de las ER.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM) (SENER, 2006):

- a) NOM para la protección al medio ambiente durante la construcción, explotación y abandono en el uso de energía eólica (fase de aprobación).
- b) NOM para determinar el rendimiento térmico y funcionalidad de calentadores solares (en vigor).
- c) NOM para calentadores solares, que tiene por objeto establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en establecimientos nuevos y remodelaciones en el D.F., que requieran agua caliente para actividades productivas, y establece que al menos 30% del consumo energético anual deberá provenir del sistema de

calentamiento basado en el aprovechamiento de la energía solar (en vigor).

Desarrollo de Políticas (SENER, 2006):

- a) Con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y la GTZ Cooperación Técnica Alemana, la SENER realizará estudios de factibilidad para bioetanol y biodiesel en el 2006.

- b) Estos estudios servirán como base para el desarrollo de una política mexicana en materia del uso de biocombustibles para el transporte.

Pese al marco legal ya descrito persisten barreras en el desarrollo de las energías renovables en México las cuales de acuerdo con (SENER, 2006), pueden clasificarse de la siguiente manera:

- I. Institucionales: La planeación energética del país está basada en metodologías que evalúan sólo el costo económico de corto plazo de la generación de energía. La falta de valoración de los beneficios que las energías renovables aportan a la economía nacional, tales como la estabilidad de precios de la energía en largo plazo, y la reducción de riesgos en el abasto energético, aunado al hecho de contar con importantes recursos energéticos fósiles nacionales, hace que las políticas y prospectivas energéticas nacionales sigan basándose en combustibles fósiles.

- II. Legales y Regulatorios: Existen limitaciones constitucionales y legales a la participación privada en el Sector Energía. Para el caso específico de la generación de energía eléctrica, La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) solamente permite la generación a particulares, a través de permisos, para casos específicos (capítulo 5, artículo 36, y artículo 72 del reglamento), que podrán incluir transmisión,

transformación y entrega de la energía eléctrica a los respectivos beneficiarios (artículo 73 del reglamento). Si bien, estas modalidades permiten la participación de particulares en la generación y transmisión de energía eléctrica, obliga a las empresas públicas de electricidad a adquirirla al menor costo económico de corto plazo.

Bajo este enfoque, la generación eléctrica a través de ER resulta más costosa, comparado con fuentes fósiles convencionales, por lo que se requieren mecanismos que permitan fomentarlas, similares a los que se han implementado en los países donde su participación es relevante. Para lograrlo, es necesario establecer incentivos económicos y fiscales, así como metodologías para valorar el aporte de capacidad que las fuentes renovables (en particular las de carácter intermitente) otorgan al Sistema Eléctrico Nacional.

En este sentido, la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), cuenta con un abanico de instrumentos de este tipo que, en caso de aprobarse, contribuirán al desarrollo de las ER.

- III. Económicos/Financieros: Dado que la planeación energética está basada en la evaluación tecnológica de generación de menor costo económico de corto plazo y que la CFE está obligada por ley a adquirir la electricidad de terceros a este costo, es necesario establecer incentivos económicos y fiscales, así como mecanismos financieros que permitan a las ER ser competitivas frente a las fuentes convencionales.

Los esquemas de financiamiento en México han sido insuficientes para el fomento de las energías renovables, por lo que es necesario impulsar este tipo de mecanismos. La iniciativa de la LAFRE tiene como uno de sus instrumentos más poderosos, la creación de un Fideicomiso que otorgaría incentivos temporales a proyectos que generen, mediante fuentes renovables, electricidad para el servicio público. Asimismo, cabe

mencionar que de manera paralela, la SENER, el GEF y el Banco Mundial están desarrollando conjuntamente un esquema para implementar un Fondo Verde que dará a partir del 2006, incentivos a productores independientes de energía que la entreguen a la CFE para el servicio público.

- IV. Técnicos: A pesar de que se han hecho esfuerzos importantes para estimar el potencial de las ER en México, como los estudios para evaluar el recurso geotérmico de CFE, y los mapas eólicos y solares elaborados por el IIE, Gobiernos Estatales y Organismos Internacionales, estos esfuerzos, en ocasiones no abarcan todo el territorio nacional, o bien, no se cuantifican otros recursos, como el mareomotriz, la geotermia de baja entalpía, el biogás de residuos urbanos y agronómicos y la biomasa de plantaciones energéticas.

Es importante resaltar que entre las políticas y diseños actuales no se aborda de manera puntual al hidrógeno, sin embargo este entra dentro del marco descrito pues sería una tecnología limpia capaz de ayudar a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

4.1 Tecnología e investigación disponible en México sobre la economía del hidrógeno.

Actualmente en México, se encuentra constituida la Sociedad Mexicana del Hidrogeno A.C. (SMH₂, 2003), la cual incluye a los principales grupos de investigación sobre el tema en nuestro país y tiene entre sus principales objetivos los siguientes:

- a) Reconocer la necesidad de contar con una fuente de energía limpia, segura en su manejo y con alto contenido energético.

b) El Hidrógeno es la fuente de energía conductora que satisface estas necesidades.

c) Promover y difundir la Tecnología del Hidrógeno en su generación, almacenamiento y aplicaciones.

Los principales proyectos con los que cuenta la Sociedad Mexicana de Hidrógeno (SMH₂, 2003) son los descritos a continuación:

- Proyecto "**Síntesis, caracterización y aplicación de una membrana compuesta Pd- Al₂O₃**" CONACyT (NC-209)

Entidad promotora: UAM- Azcapotzalco

Objetivo: Hidrógeno, producción, almacenamiento y su uso en celdas de combustible y en el tratamiento de crudos pesados

Participantes: Departamento de química CINVESTAV, Instituto de investigaciones Eléctricas IIE, Departamento de Ingeniería Química UI, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares INI, Universidad Autónoma del estado de México, Universidad Autónoma Metropolitana.

- Proyecto "**Producción de hidrógeno libre de CO por descomposición catalítica de metano**". ESIQIE-IPN

Entidad promotora: Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas

Objetivo: Síntesis y caracterización de materiales nanométricos con actividad electrocatalítica para las reacciones de evolución de hidrógeno y oxígeno, reducción de oxígeno y oxidación de metanol.

-
- Proyecto: **“Síntesis y caracterización de compuestos fotocatalizadores, electrocatalizadores y para almacenamiento de hidrogeno”**.

Entidad promotora: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares ININ

Objetivo: Síntesis y caracterización de compuestos con posibles aplicaciones en electrolizadores y como electrodos en celdas de combustible. Materiales de estudio base rutenio, perovskitas y espinelas.

Participantes: ESFM, ESIQIE-IPN, CINVESTAV, CIE-UNAM, IIE.

- Proyecto: **“Energía de Hidrógeno, fundamentos y aplicaciones”**

Entidad promotora: Instituto Mexicano del Petróleo IMP

Objetivo: “Desarrollo de hidruros metálicos con incorporación de materiales nano-estructurados para aplicaciones en sistemas de almacenamiento de energía de hidrógeno”

Participantes: Instituto Mexicano del Petróleo, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Centro de Ciencias Físicas-UNAM, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Centro de Investigación en Energía-UNAM, University of Colorado, Boulder, Co. USA.

- Proyecto: **“Prototipos de Celdas de combustible”**

Entidad promotora: Instituto Mexicano del Petróleo IMP

Objetivo: Desarrollo de Prototipos de Celdas de Combustibles de Membrana Intercambiadora de Protones Basados en Nuevos Materiales.

Participantes: Instituto Mexicano del Petróleo, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Centro de Ciencias Físicas-UNAM, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Centro de Investigación en Energía-UNAM, University of Colorado, Boulder, Co. USA.

- Proyecto: “**Generación Biológica de Hidrógeno, Celdas de Polímero Electrolítico, Celdas de Oxido Sólido**”

Entidad promotora: Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV-Chihuahua

Objetivo: Inician trabajos sobre tres líneas de investigación descritas en el título.

Participantes: Universidad de Texas, Universidad de Houston, IF -UNAM y CIE-UNAM.

- Proyecto: “**Desarrollo de sistemas solar hidrógeno utilizando nuevos materiales catalíticos y fotocatalíticos**”.

Entidad promotora: Centro de Investigación en Energía CIE – UNAM

Objetivo: Generación de hidrógeno a partir de energía fotovoltaica, Proyecto financiado por CONACYT.

Participantes: IMP, IIE, ININ, IIM, CINVESTAV

-
- Proyecto: **“Alternativas de materiales para electrodos utilizados en celdas de combustible”**.

Entidad promotora: Instituto de Investigaciones en Materiales IIM-UNAM

Objetivo: Síntesis y caracterización de materiales de electrodos para celdas de combustibles de óxidos sólidos, Síntesis de membranas poliméricas a base de Poliimidias sulfonadas para la preparación de ensambles MEA a altas temperaturas.

Participantes: ACR, UA, Cinvestav, CIE

Como puede observarse existen grupos de investigación que trabajan en torno al hidrógeno como una fuente de generación de energía limpia y protectora de la salud y del medio ambiente en nuestro país.

La infraestructura experimental para el desarrollo de investigación en la generación, almacenamiento y aplicaciones del hidrógeno es reducido, debido al escaso financiamiento en esta área.

Debemos recordar que estas investigaciones son valiosas pero no suficientes pues en el resto del mundo la investigación avanza a pasos agigantados y se reconoce el carácter prioritario de este tipo de investigaciones.

“La era del petróleo esta concluyendo y no es por falta de petróleo, de igual manera que la edad de piedra concluyó y no fue precisamente por falta de piedras” (Rifkin, 2002). El gran reto es encontrar esa tecnología que sustituya al petróleo como en su momento el cobre sustituyo a las piedras.

4.3 Tendencias y perspectivas

Como hemos descrito en los puntos anteriores existen en nuestro país proyectos que demuestran el interés que existe sobre el tema y el marco legal que favorece la implementación de energías renovables y limpias en sustitución de los hidrocarburos usados actualmente.

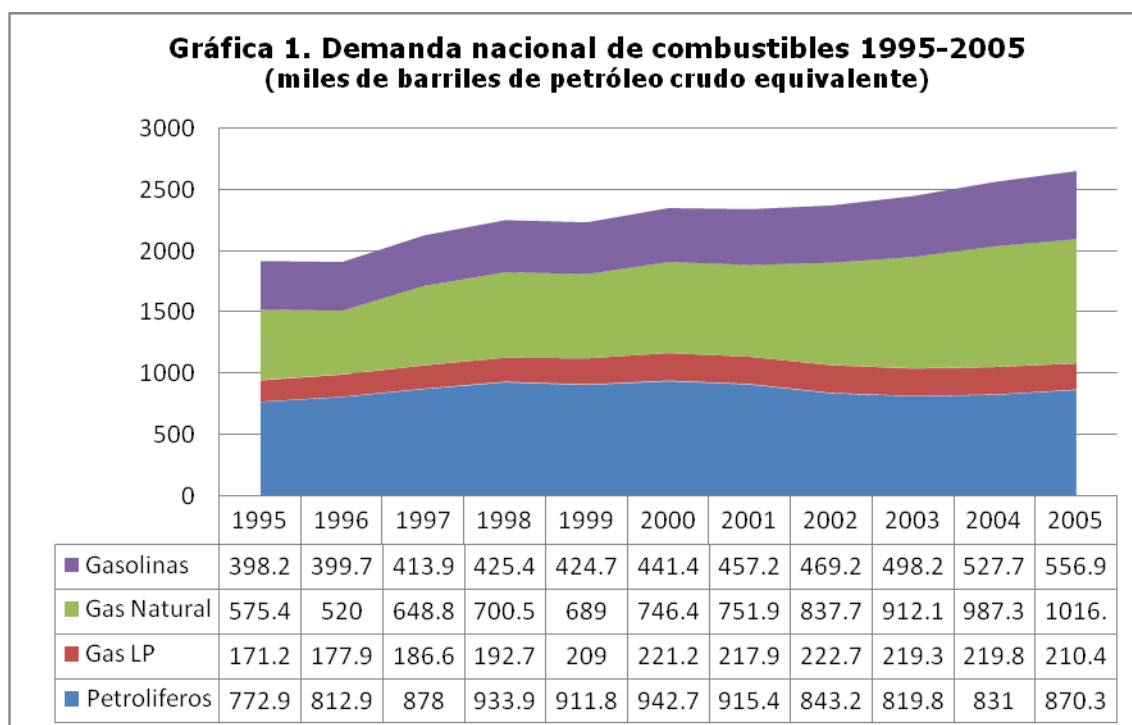
Pese a lo anterior tenemos que pensar en cuáles son las tendencias y perspectivas en cuanto a energéticos para consumo automotriz y su incidencia en la contaminación y la salud pública, recordemos que “la economía del hidrógeno” aun no es una realidad tangible pero si un proyecto en el que muchos no sin cierta fe, tenemos puestas nuestras esperanzas.

Del documento Prospectiva de Petrolíferos 2006-2015 (SENER, 2006) resaltamos los siguientes puntos:

Evolución futura de los precios y demanda de combustibles

- a) Se estima que las restricciones a nivel internacional sobre la capacidad de producción de las gasolinas y destilados intermedios aumenten considerablemente.
- b) La expansión limitada en la capacidad de conversión de crudo dentro de los siguientes años contribuirá a mantener fuertes los márgenes de refinación y aumentar la presión sobre los precios de los crudos ligeros y dulces.
- c) Las limitantes de la industria de refinación se centran esencialmente en la capacidad de reconfiguración de unidades que convierten productos pesados en ligeros como gasolinas, diesel y turbosina.

- d) La capacidad de destilación mundial de crudo aumentará a un tasa media de crecimiento anual de 1.8% durante el periodo 2004-2030 hasta alcanzar 118 mmbd¹ al final del periodo.
- e) Cualquier déficit en las inversiones que provoque escasez en la capacidad de refinación añadiría presión sobre la oferta de petrolíferos y posiblemente sobre los precios del crudo.
- f) A nivel nacional la demanda nacional de hidrocarburos en 2005 se ubicó en 2,653.9 mbdpce², en donde los petrolíferos contribuyeron con un 53.8%, el porcentaje restante 46.2% correspondió al gas natural y gas licuado de petróleo. Dentro de esta demanda nacional, las gasolinas tuvieron una participación del 21.0%, lo que las convierte en uno de los combustibles de mayor uso después del gas natural 38.3%; le siguen el combustóleo y el diesel con 15.5% y 13.2%.



Fuente: (SENER, 2006).

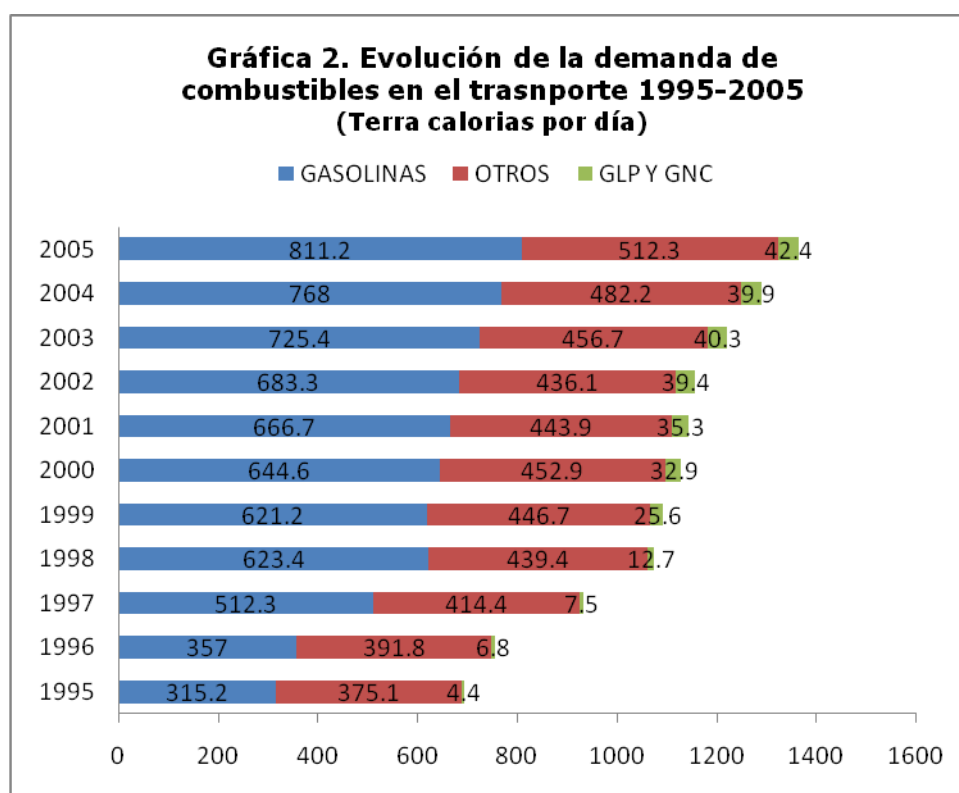
¹ (mmbd) miles de millones de barriles diarios

² (mbdpce) millones de barriles de petróleo crudo equiparables

Perspectivas para el sector transporte, por tipo de combustible:

El sector transporte tiene un lugar significativo en el balance de energía nacional, ya que representa uno de los sectores de mayor consumo. Por ello en este apartado se mencionan los siguientes factores que influyen en el comportamiento de la demanda en este sector:

A continuación presentamos una grafica sobre la evolución de la demanda de combustibles de 1995 a 2005.



Fuente: (SENER, 2006).

En los últimos cuatro años el parque vehicular a gasolinas se ha incrementado hasta 18.5³ millones de vehículos en 2005. El índice de motorización entre 2002 y 2005 pasó de 143 a 169 vehículos por cada mil habitantes, lo que

³ Este número es tomado de (SENER, 2006) con información de Melgar de México, la cual toma en consideración el parque dado de baja, vehículos reetiquetados, legales e ilegales; y modelos de unidades (edad del parque).

significa un crecimiento de 26 vehículos por millar en este periodo o un incremento de 18.18%.

Las políticas de regularización de vehículos ilegales es otro aspecto que está contribuyendo a incrementar el volumen de vehículos existentes. En 2005 se regularizaron 990,867 vehículos.

A decir de Mario Molina, a partir de la entrada en vigor del decreto emitido el año pasado para legalizar vehículos usados de importación, de noviembre de 2005 a junio de 2006, se legalizaron en el país más de un millón 170 mil 273 unidades provenientes de Estados Unidos, con una edad promedio de 10 a 15 años de antigüedad. (Molina, 2007). Cabe destacar que estos vehículos no hacen sino incrementar la contaminación ambiental pues estos no cumplen con la normatividad vigente y tienen un consumo superior al de los autos nacionales.

A continuación presentamos un breve resumen de la evolución que han tenido los distintos tipos de combustibles.

Gasolinas (95.5% del parque vehicular): El crecimiento anual observado para las gasolinas durante el periodo 1995-2005 fue de 3.4%, siendo la Pemex Magna la de mayor consumo, con una participación en 2005 de 83.3%. Adicionalmente, la demanda de Pemex Magna es prácticamente cinco veces mayor a la de Pemex Premium.

Gas LP carburante (1.2% del parque vehicular): Su consumo a mediados de la década de los 90's se vio influenciado más bien por cuestiones económicas coyunturales que por factores ambientales, (recordar que este combustible cuenta con un programa de estímulo para su uso que en el caso de flotillas de empresa les permite exentar el hoy no circula en la ZMVM, aun si la flotilla es de unidades con una vida en servicio superior a los 10 años), sin embargo, por

el incremento en su precio, se ha convertido en un factor limitante para el incremento en su demanda.

Diesel (3.3% del parque vehicular): La utilización del diesel es el que presenta el mayor consumo respecto al transporte marítimo y ferroviario, debido fundamentalmente a la posición relativa y su acceso a los diferentes mercados, tanto de transferencia de carga, como de pasajeros, sin embargo su participación en el parque vehicular no ha permitido un incremento considerable respecto al de las gasolinas.

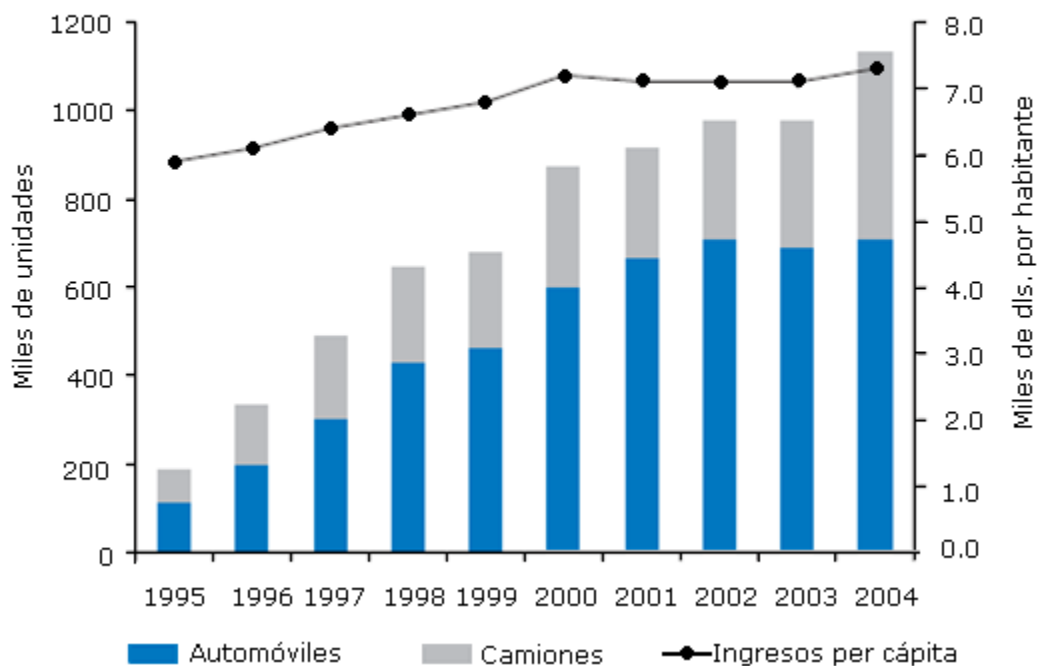
Evolución del parque vehicular nacional

Un aspecto que ha impactado la demanda de gasolinas es el incremento en la venta de automóviles registrado en la última década. El aumento de las ventas internas de vehículos, (automóviles y camiones), refleja en un crecimiento promedio anual del 22.4% (SENER, 2006).

La evolución de la demanda de vehículos registra un incremento del 517.2% en 2004 respecto a 1995. Para este último año, las ventas registradas fueron de un millón 132 mil unidades, lo cual significa un incremento del 16.0% con relación al 2003. De este total, 714 mil y 418 mil unidades fueron a automóviles y camiones, respectivamente.(SENER, 2006).

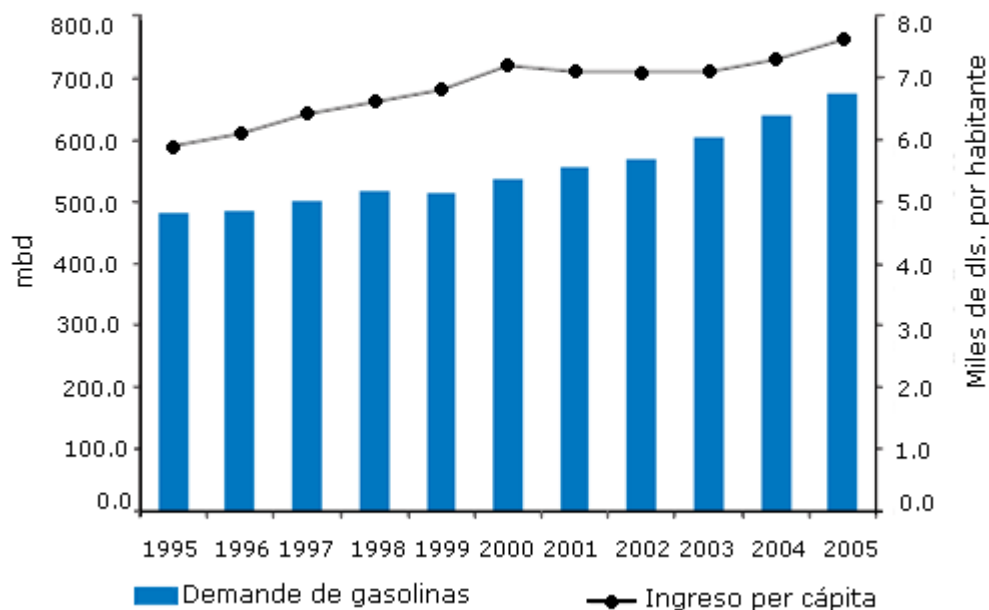
Un factor relevante en la mayor demanda de automóviles fue el ingreso per cápita registrado en el periodo 1995-2005, el cual mostró un crecimiento promedio anual de 2.5%, al pasar de 5.9 a 7.6 miles de dólares por habitante (SENER, 2006). En este contexto, durante la última década, la demanda de gasolinas ha registrado un crecimiento promedio anual de 3.4%. Así, para 2005 la demanda de este combustible fue de 672.1 mbd; 35.3 mbd más respecto al 2004 (SENER, 2006), lo cual demuestra la relación directa entre la venta de vehículos y el volumen de combustible consumido como puede ser observado en la siguiente gráfica.

Gráfica 3. Ventas de automóviles e ingreso per cápita 1995-2004



Fuente: (SENER, 2006).

Gráfica 4. Demanda interna de gasolina e ingreso per cápita



Fuente: (SENER, 2006).

Como se puede observar estamos ante un escenario en el que como se indica al principio del apartado se espera que las presiones sobre los precios de los hidrocarburos continúen producto de la mayor utilización de crudo pesado, esto nos indica que los precios seguirán a la alza y por otra parte encontramos un incremento constante y creciente en la adquisición de nuevos automóviles los cuales si bien es cierto son menos contaminantes que los modelos con una anterioridad superior a 10 años su volumen sigue siendo un factor que impacta sobre la contaminación ambiental, otro punto resaltable de esto son los datos de autos legalizados, estos autos no cumplen con las normas y están siendo introducidos al país en grandes cantidades lo cual aumenta las emisiones contaminantes a la atmósfera.

4.4 Evaluación económica de la utilización de gas Hidrógeno, como instrumento que permita la compatibilidad del desarrollo económico y el desarrollo sostenible en la ZMVM

4.4.1 Resumen Ejecutivo

En los últimos 3 años pese a los pronósticos de agencias internacionales especializadas, como la Agencia Internacional de Energía que pronostican una disminución en el precio del petróleo esto no se ha observado en la realidad pues en promedio en este periodo el precio se ha incrementado en 10 dólares anuales llegando a tocar máximos en nuestra mezcla de exportación de hasta 60 dólares por barril.

En la actualidad la utilización de hidrocarburos genera un contexto de enormes costos ambientales resultado de este consumo, y aunado a la existencia de expectativas de crecimiento en la demanda y precios en el mediano plazo, por esta razón planteamos una evaluación económica de la utilización de un combustible sustituto limpio y amigable con el ambiente "gas hidrógeno" para su utilización en vehículos automotores en la ZMVM.

Para este fin proyectamos realizar una evaluación económica, tomando como caso de estudio una flotilla de 100 unidades⁴ comparando sus beneficios y costos utilizando gasolina e hidrógeno, con el fin de poder vislumbrar su rentabilidad tomando en cuenta las perspectivas en precios de los combustibles.

Posteriormente planteamos la incorporación de la variable ambiental al análisis pues pensamos que si se incluye esta variable los costos totales de la utilización de gasolina e hidrógeno tenderán a equilibrarse y muy probablemente resulte más rentable la utilización de hidrógeno.

4.4.2 Origen del proyecto y objetivo de estudio

Origen del proyecto

En la ZMVM, la contaminación emitida por los vehículos automotores, es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica al tiempo que sus costos inciden de manera directa sobre la actividad económica.

Objetivo del estudio

Elaborar una propuesta de producción de hidrogeno (in situ)⁵, para el caso de flotillas con lo cual se podría obtener una perspectiva sobre los requerimientos necesarios para preparar la transición de nuestro país hacia la nueva economía del hidrogeno, al tiempo que se demuestra que la utilización del Hidrogeno en vehículos automotores, permite la disminución de emisiones contaminantes y es capaz de contribuir a un desarrollo sustentable que nos permita seguir desarrollando nuestra economía y preservar el medio ambiente.

⁴ Pensamos que este estudio con esa cantidad de vehículos puede ser aplicado tanto a empresas particulares que cuenten con una enorme red de distribución o al servicio público administrado por el Estado.

⁵ Este tipo de procedimientos ocurren ya con el caso del Gas LP en donde grandes empresas con flotillas tienen estaciones de auto abastó y son utilizadas para surtir a sus propias unidades.

4.4.3 Situación actual y sin proyecto

Situación Actual

Problemática actual:

- a) Disminución en la calidad de vida de la población en general por pérdida de tiempo y daños a la salud como resultado de un sistema de transporte ineficiente y altamente contaminante.
- b) Atomización y sobreoferta del sistema de transporte público por parte de pequeños concesionarios, operando microbuses (peseros) con muy poca regulación y control.
- c) Ineficiente estructura de industria e incentivos, degradando la calidad del servicio y generando graves impactos económicos y socio-ambientales.
- d) Necesidad de fortalecer la capacidad institucional enfocada hacia problemas integrados de congestión vehicular y contaminación atmosférica

Cuantificación de la problemática:

- a) Aproximadamente 19 millones de residentes en la ZMVM.
- b) 29.1 millones de pasajeros diarios (SETRAVI, 2000).
- c) Cerca de 3.5 millones de vehículos privados registrados (incluyendo 100,000 taxis) transportan el 17.6% de los viajes diarios, pero contribuyen el 90% de la congestión vehicular y el 50% de las emisiones relacionadas con el transporte (SETRAVI, 2004).

-
- d) Pérdida de 2.5 millones de días de trabajo por enfermedades relacionadas con la contaminación (INE, 2004a).
 - e) Pérdida de aproximadamente \$10 mil millones de dólares anuales a causa del tiempo perdido en tráfico (viaje promedio hogar-casa-hogar = 2.5 hrs.; INE, 2004b).
 - f) 4,000 muertes prematuras anuales, atribuidas a la contaminación atmosférica (INE, 2004b).
 - g) Costos anuales aproximados a \$1,500 millones de dólares como consecuencia de enfermedades provocadas por la contaminación de origen vehicular (INE, 2004b).
 - h) 2,500 muertes anuales por accidentes de tránsito (Gómez, 2006).
 - i) Los accidentes de tránsito son la mayor causa de mortalidad infantil en niños entre los 5 y los 14 años (Gómez, 2006).
 - j) Los usuarios de transporte público y privado están expuestos a niveles de concentración de contaminación atmosférica entre 2 y 6 veces mayores que las personas en sitios al aire libre (Gómez, 2006).
 - k) 84% de la polución del aire en ZMVM está relacionada directamente con el transporte (SMA, 2000b).

Situación Sin proyecto

La situación sin proyecto en cuanto a la contaminación atmosférica y la disminución de la utilización de hidrocarburos, no tienen perspectivas de mejoras más haya que lo que representan la introducción de combustibles

cada vez más limpios como las Gasolinas de Ultra Bajo Azufre⁶, sin embargo las expectativas de crecimiento del parque vehicular y de la población, son capaces de sustituir la disminución de contaminación individual por unidad en el caso de los nuevos vehículos (Cabe recordad que un factor más que se suma a este escenario negativo es que en el año 2008 se libera la importación de automóviles usados provenientes⁷ de E.U como lo marca el TLCAN).

4.4.4 Situación con proyecto.

4.4.4.1 Descripción del proyecto

Elaborar una propuesta de producción de hidrogeno (in situ) para auto abastó, para el caso de flotillas con lo cual se podría obtener una perspectiva sobre los requerimientos necesarios para preparar la transición de nuestro país hacia la nueva economía del hidrógeno con el fin de demostrar que la utilización de este gas en vehículos automotores, permitiría una disminución sustancial de contaminantes, partiendo de los siguientes supuestos.

- 1) El motor fundamental de la economía es la disponibilidad de fuentes energéticas, las cuales deben presentarse de manera constante y a precios accesibles, razón por la cual resulta apremiante la exploración de nuevos combustibles que sustituyan a los que se derivan del petróleo.
- 2) Actualmente la Zona Metropolitana del Valle de México enfrenten un grave problema de salud publica ocasionado por la contaminación atmosférica la cual se calcula cobra 4,000 muertes al año, dicha contaminación se explica hasta en un 85% a causa de la utilización de combustibles fósiles en vehículos automotores.

⁶ Hoy disponibles en la mayoría de las estaciones de servicio, bajo la modalidad de gasolina Premium pero esta gasolina es utilizada en una mínima proporción en comparación con la gasolina convencional o Magna, razón por la cual su impacto no será en grandes dimensiones.

⁷ Estos autos por lo general son de modelos superiores a 10 años y resultan altamente contaminantes y fuera de las NOM establecidas.

-
- 3) El crecimiento poblacional en la ciudad de México incrementara la demanda de combustibles fósiles y pese a la eficiencia de los nuevos vehículos y la utilización de combustibles de ultra bajo azufre esto no será suficiente para atender el problema ambiental.
 - 4) Las acciones que debe tomar el Estado para prevenir el desastre económico y ambiental que se aproxima deben centrarse en el área de la producción y distribución del hidrogeno pues la tecnología para su utilización esta disponible⁸ y pese a que es muy cara no representa mayor problema pues cualquier auto prototipo es excesivamente caro y solo se necesita comenzar a producir en serie para que sus costos sean accesibles al mercado.

4.4.4.2 Propuesta para generar hidrógeno (in situ) en la modalidad de auto abastó para flotillas.

Para comenzar con este apartado tenemos que decir que resulta difícil plantear lo siguiente pues en realidad se tenia la esperanza de demostrar la viabilidad del hidrógeno sin tener que recurrir a una producción basada en gas natural pero como fue expuesto en el Capítulo III, hoy día la forma más económica de producir hidrógeno es mediante la utilización de gas natural, sin embargo no estamos decepcionados y pensamos que este puede ser un buen comienzo ya que en este momento nuestro país no cuenta con la infraestructura necesaria para producir hidrógeno en base a energías renovables y que bueno esto será el reto siguiente pero Roma no se construyo en un día.

La propuesta de generación in situ esta basada en las tecnologías que la empresa "PRAXAIR", presenta ya que esta cuenta con una opción bastante aceptable que presenta ventajas importantes con respecto al suministro que

⁸ Actualmente existen prototipos de la mayoría de las marcas automotrices mundiales, lo cual nos indica que ellos están previendo la transición de los combustibles fósiles a el hidrógeno.

PEMEX⁹ hace del hidrogeno, a costos directos de producción inferiores y eliminando prácticamente el costo de infraestructura como podría ser el de tuberías y equipos especiales de almacenamiento.

La planta generadora de hidrógeno de PRAXAIR, "Plantas HGS" produce hidrógeno industrial y grado electrolítico, con purezas entre 90 y 99.999%, así como 50 a 1,000 metros cúbicos por hora.¹⁰ Esta empresa cuenta con diferentes esquemas de comercialización, ya sea en venta, en arrendamiento o bien en operación y mantenimiento.

El costo aproximado de la planta es de 2 millones de pesos y su funcionamiento es a base de gas natural¹¹ con una eficiencia de entre 70 y el 90%.¹²

"Con este procedimiento el hidrógeno se obtiene a partir de hidrocarburos, fundamentalmente del gas natural. El principal componente del gas natural es metano CH₄ y la reacción consiste básicamente en separar el carbono del hidrógeno. El proceso tiene lugar en dos etapas: En la fase inicial, el gas natural se convierte en hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. La segunda etapa consiste en producir hidrógeno adicional y dióxido de carbono a partir del monóxido de carbono producido durante la primera etapa. El monóxido de carbono es tratado con una corriente de vapor a alta temperatura produciéndose hidrógeno y dióxido de carbono." (Revista Tecnociencia, 2005).

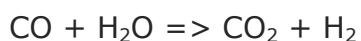
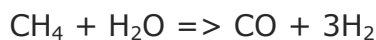
⁹ Esto fue abordado en el Capítulo III en la sección 3.5

¹⁰ Datos obtenidos directamente de la empresa PRAXAIR mediante cotización.

¹¹ El gas natural es más ligero que el aire y está compuesto, principalmente, por metano, un gas altamente inflamable, que es un compuesto químico simple de átomos de carbón e hidrógeno. Su fórmula química es CH₄, que significa que cada molécula de metano contiene un átomo de carbón y cuatro de hidrógeno.

¹² La mayoría del hidrógeno empleado por la industria petroquímica se genera de esta manera. El proceso tiene una eficiencia entre el 70 y el 90%.

A continuación se muestran las reacciones químicas producidas durante el proceso:



De esta manera resulta interesante, que si bien, es cierto que las tecnologías para la producción de manera sustentable aun no están del todo disponibles debido a sus costos, alternativas como esta presentan la oportunidad para tender un puente entre la actual utilización de hidrocarburos hacia la nueva economía del hidrogeno.

Parece importante destacar en este punto que con plantas como las que proporciona la empresa PRAXAIR, estas podrían colocarse directamente en los lugares de encierro de las flotillas tal como se hace actualmente con las estaciones de auto abastó de gas LP del cual muchas empresas hacen uso en la actualidad.

“En una evaluación de costos de infraestructura de diferentes sistemas de llenados de hidrógeno para los vehículos a celdas de combustibles se estimó que "producir e instalar reformadores de metano de vapor a pequeña escala para producir hidrógeno requiere inversiones de capital anuales de entre US\$200 a US\$300 por cada nuevo vehículo a celda de combustible de hidrógeno" (Clean Air, 2005).

A continuación identificaremos los costos de este proyecto con fin de llevar a cabo la evaluación económica de este.

4.4.4.3 Costos de la inversión en instalación de plantas de producción de hidrógeno para autoconsumo.

- I. Planta generadora de hidrógeno de PRAXAIR, "Plantas HGS a base de gas natural" con un costo aproximado de 2 millones de pesos.
- II. Costo anual de mantenimiento de aproximadamente el 10% del valor de la planta, según datos proporcionados por PRAXAIR \$200,000 pesos¹³.
- III. Costo de sueldos requeridos para emplear al personal que maneje la planta generadora.

Una vez concluida la recopilación de los datos presentamos a continuación un cuadro resumen sobre la proyección de los precios de hidrógeno con base a la propuesta de instalación de plantas de la empresa PRAXAIR.

Tabla 1. Costo de producir hidrógeno mediante la planta HGS de PRAXAIR

Costo de general un metro cúbico de hidrógeno				Costo de un galón de gasolina Magna	Razón costos de hidrógeno/gasolina
Volumen de gas natural requerido	Precio del gas natural	Costo de la electricidad requerida	Total		
1.11	\$3.00	\$1.49	\$4.49	\$25.36	5.65

Nota: Si asumimos una eficiencia del 90% requerimos 1.11 metros cúbicos de gas natural para producir y metro cúbico de hidrógeno.

En los últimos meses de 2006 el precio del metro cúbico de gas natural oscilo entre los 2.4 y 2.7 así que haremos nuestro calculo con base a un precio de 3 pesos.

Se toma un precio para la gasolina Magna de 6.7 precio promedio en el ultimo trimestre de 2006.

La planta de generación tiene un consumo aproximado de 2,500 Kilowatts hora, según datos de CANACINTRA el precio promedio de un kilowatt hora para consumo industrial tiene un costo de \$0.60 pesos así que multiplicando esto por el consumo obtenemos un costo de \$1,491.60 pesos, este costo dividido por 1000 ya que esta es la producción que la planta puede generar en una hora no resulta en un costo unitario de \$1.49 pesos

Un metro cúbico de hidrógeno equivale aproximadamente a un galón de gasolina

La eficiencia del hidrógeno es 3 veces la de la gasolina así que solo se requiere en hidrogeno 1/3 de lo que se utiliza gasolina

Fuente: Elaboración propia con datos de la empres PRAXAIR y del INEGI.

¹³ Los datos proporcionados por PRAXAIR tienden al límite inferior de los gastos anuales proyectados por Clean Air, calculados entre 200 y 300 dólares por unidad.

Como puede observarse el precio obtenido mediante la producción con un planta generadora de auto abastó¹⁴ es significativamente menor que el reportado a precios de mercado, obtenido mediante el INEGI el cual fue descrito en el Capítulo III, \$8.73 pesos para el año 2006, de esta manera tenemos una forma de producir hidrógeno 48.56% más barata.

A continuación exponemos tablas con la información sobre los costos de inversión necesarios iniciales y a 20 años para poder llevar a cabo la evaluación financiera.

Tabla. 2 Costos de inversión por instalación de planta generadora de hidrógeno

Costo unitario por planta de generación de hidrogeno	Costo anual por mantenimiento	Total de inversión requerida en pesos
\$2,000,000.00	\$200,000.00	\$2,200,000.00

Fuente: Elaboración propia con datos de PRAXAIR.

Tabla. 3 Costos de inversión a 20 años por instalación y mantenimiento de planta generadora de hidrógeno

Costo unitario por planta de generación de hidrogeno	Costo anual por mantenimiento a 20 años	Total
\$2,000,000.00	\$4,000,000.00	\$6,000,000.00

Fuente: Elaboración propia con datos de PRAXAIR.

Tabla. 4 Costos en salarios requeridos para el manejo de planta generadora de hidrógeno

Sueldo mensual (3 salarios mínimos)	Prestaciones anuales de ley	Total anual
\$4,563.00	\$3,042.00	\$57,798.00

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONASAMI, 2007).

¹⁴ Esta planta puede producir hasta 1,000 metros cúbicos de hidrógeno por hora, lo cual correspondería en gasolina a producir 11,355 litros ya que sabemos que 1 metro cúbico de hidrogeno equivale a un galón de gasolina, es decir 1,000 metros cúbicos de hidrógeno son equivalentes a 3,785 litros de gasolina pero dado que la eficiencia energética del hidrógeno es 3 veces superior seria como producir 11,355 litros de gasolina.

Tabla. 5 Costos en salarios requeridos para el manejo de planta generadora de hidrógeno

Sueldo anual calculado a 20 años	Prestaciones anuales calculadas a 20 años	Total
\$1,095,120.00	\$60,840.00	\$1,155,960.00

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONASAMI, 2007).

Una vez planteados estos costos de inversión resulta pertinente hacer una tabla de la inversión en 100 unidades con tecnología de hidrógeno y su consumo estimado.

Proponemos en este estudio asumir una flotilla de 100 unidades, las cuales como hemos anunciado en la introducción pueden corresponder a flotillas de distribución de empresas privadas o de servicio público administradas por el Estado.

Tabla 6. Costos de inversión en Flotilla a Hidrógeno y consumo estimado de combustible

Costo por unidad	Costo total por unidades	Consumo de a 20 años combustible metros cúbicos	Precio del hidrógeno consumido a 20 años a pesos de 2007
\$1,316,460.00	\$131,646,000.00	5,495,376.486	\$24,674,240.42

Fuente: Elaboración propia con información de Tesla y Banxico.

Tabla 7. Costos de inversión en Flotilla a Gasolina y consumo estimado de combustible

Costo por unidad	Costo total por unidades	Consumo de gasolina a 20 años en litros	Precio de la gasolina consumida a 20 años a pesos de 2007
\$291,600.00	\$29,160,000.00	62,400,000	\$418,080,000.00

Fuente: Elaboración propia con información de Ford e INEGI.

Las tablas anteriores se construyeron con los siguientes datos:

- a) El ejemplo parte de suponer una flotilla de 100 unidades, y un consumo promedio de 100 litros (de gasolina o equivalente en hidrógeno) diarios por unidad y un consumo de 26 días por mes y se hace la proyección a 20 años.
- b) La empresa Tesla pondrá a la venta camiones de transporte multimodal a partir de 2008 su precio es de USD 120,000 pese a esto sus producción ya esta completamente comprometida para ese año, según (Tesla, 2007).
- c) El precio de contado de un camión F/450 de la marca Ford es de \$291,600 pesos según consulta a (Ford, 2007).
- d) Tipo de cambio Fix al 9 de abril de 2007 \$10.9705 pesos por dólar según consulta a (Banxico, 2007).
- e) Se excluye mantenimiento en ambos casos.

Cabe resaltar que la tabla 7 nos servirá como parámetro para medir la rentabilidad del proyecto pues esta implica continuar con la tecnología vigente con sus beneficios de corto plazo expresados en costos menores en la compra de automóviles, pero con un costo creciente al mantener el uso de gasolina, las emisiones de contaminantes atmosféricos, seguirán afectando la salud y bienestar de la población en general.

A continuación presentamos una tabla resumen sobre los costos de inversión de este proyecto para posteriormente pasar a cuantificar los beneficios, incluyendo la variable ambiental y de salud en este ejercicio.

Tabla 8. Costos totales de inversión en Flotilla y planta generadora a Hidrógeno

Costo total de inversión de la planta generadora a 20 años	Costos de salarios por manejo de planta generado a 20 años	Costo total por unidades	Precio del hidrógeno consumido a 20 años a pesos de 2007	Total
\$6,000,000.00	\$1,155,960.00	131,646,000.000	\$24,674,240.42	\$163,476,200.42

Fuente: Elaboración propia con información expuesta en tablas anteriores.

Asumimos que la masificación de los vehículos con hidrógeno como combustible, correrá a cargo del mercado y que si bien estos autos tienen un costo superior al de los actuales, impulsados por gasolina la competencia entre las empresas automotrices nivelara estos costos y hará que estos nuevos vehículos sean accesibles al mercado¹⁵. Hoy día el costo de un vehículo híbrido por ejemplo es aproximadamente 20% superior al de uno convencional, el costo de un vehículo con hidrógeno como se mostro con los datos anteriores es alrededor de un 451% superior al de las tecnologías convencionales sin embargo con una tendencia a la baja producto de programas como "Hydrogen Fuel Initiative" y "FreedomCAR" los cuales han permitido reducir los costos de estos vehículos en aproximadamente un 50% en tan solo 4 años de acuerdo con (White House, 2007).

4.4.4.4 Beneficios esperados de la realización del proyecto.

En primer termino calcularemos los efectos positivos de la disminución de contaminantes pues recordemos que al utilizar hidrógeno las emisiones de estos vehículos desaparecerán y pese a que parece muy poco el hablar de 100 unidades pensemos en el horizonte de 20 años y comparémoslo con los problemas que se ocasionan en un solo año para poder estimar los beneficios de la adopción de este nuevo combustible.

Tabla 9. Emisiones contaminantes por unidad en la ZMVM

Toneladas de contaminantes emitidas en la ZMVM anualmente por fuentes móviles	Automóviles aproximados responsables de esa emisión	Toneladas por auto anualmente en la ZMVM
4,000,000	3,500,000	1.1429

Fuente: Elaboración propia con información expuesta en el punto 4.4.3.

¹⁵ Ejemplo de esto son los auto híbridos los cuales se calcula tienen un sobre precio en comparación a los autos convencionales de aproximadamente el 20%, como describimos en el Capítulo III, en la sección 3.4, los precios de la tecnología del hidrógeno han experimentado disminuciones aproximadas a un 50% en solo cuatro años lo cual ayudara a colocarlos muy pronto en nuestras calles.

Tabla 10. Emisiones evitadas con este proyecto en la ZMVM

Toneladas por auto anualmente en la ZMVM	Toneladas no emitidas por la flotilla de 100 unidades en 20 años	Proporción de toneladas no emitidas por la flotilla en relación al total anual de 4,000,000
1.1429	2,285.7143	0.05714%

Fuente: Elaboración propia con información expuesta en el punto 4.4.3.

Con estos datos, estamos en condiciones de evaluar los ahorros estimados por la utilización de hidrógeno, cabe resaltar que este proyecto parece definitivamente solo rentable para el gobierno pues la iniciativa privada difícilmente sería capaz de asumir la inversión con este combustible pues los costos iniciales de inversión son muy superiores, sin embargo esperamos que en un futuro cercano esto pueda llegar a ser rentable también para la iniciativa privada.

Tabla 11. Ahorros en salud por la utilización de hidrógeno

Costo anual en salud por causa de emisiones contaminantes en la ZMVM (Dólares)	Proporción de la disminución de contaminación anual proyectada a 20 años en la flotilla de hidrógeno	Valor de la disminución de contaminantes evitados por la flotilla de Hidrógeno (Dólares)	Valor en pesos
\$1,500,000,000	0.057%	\$857,142.86	\$9,403,285.71

Fuente: Elaboración propia con base en información del INE y la tabla 10.

Tabla 12. Ahorros en días hombre por salud por la utilización de hidrógeno

Días hombre perdido por causa de enfermedades provocadas por las emisiones de vehículos en la ZMVM	Proporción de la disminución de contaminación anual proyectada a 20 años en la flotilla de hidrógeno	Ahorro de días hombre por la utilización de hidrogeno a 20 años	Salario promedio en la ZMVM según datos de afiliados al IMSS	Total de ahorro en pesos
2,500,000	0.057%	1,428.57	\$250.98	\$358,535.71

Fuente: Elaboración propia con base en información del INE y la tabla 10.

Tabla 13. Muertes evitadas por la utilización de hidrogeno

Muertes prematuras anuales provocadas por las emisiones de vehículos en la ZMVM	Proporción de la disminución de contaminación anual proyectada a 20 años en la flotilla de hidrógeno	Muertes evitadas por la utilización del hidrógeno	Estimado del costo de esa muerte si calculamos una vida de trabajo de 30 años al salario promedio vigente	Total de ahorro en pesos
4,000	0.057%	2.29	\$2,710,530.00	\$6,195,497.14

Fuente: Elaboración propia con base en información del INE y la tabla 10.

Con estos datos estamos en condiciones de llevar a cabo la evaluación social del proyecto lo cual realizaremos a continuación

4.4.5 Evaluación socioeconómica

Tabla 14. Balance a 20 años de la utilización de hidrógeno en una flotilla de 100 automóviles

Costo del proyecto de utilización de hidrogeno en una flotilla de 100 unidades	Costo de la utilización de gasolina en una flotilla con los mismo fines	Diferencia	Ahorros esperados a consecuencia de la utilización del hidrógeno	Saldo
\$163,476,200	\$447,240,000	\$283,763,800	\$15,957,319	\$299,721,118

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla mostramos como beneficios los ahorros derivados del proyecto, los cuales son sumados al diferencial existente entre los proyectos de gasolina e hidrógeno lo cual da como resultado un valor de \$299,721,118.00 esta cantidad dividida entre el número de años de duración del proyecto nos arroja el siguiente ingreso neto anual.

Tabla 15. Ingreso neto anual derivado del proyecto

Beneficios netos del proyecto	Años de proyecto	Beneficio anual
\$299,721,118	20	\$14,986,056

A continuación realizaremos el cálculo de las variables financiera para ver la rentabilidad del proyecto.

Debemos considerar lo siguiente, una vez que hemos llegado a este punto:

Tabla 16. Resumen de inversión

Inversión inicial ¹		Diferencial ²
Hidrógeno	Gasolina	
133,903,798.00	29,160,000	104,743,798.00

Nota 1: la inversión inicial incluye el costo de la flotilla y en el caso del hidrógeno los costos de la planta y salarios por su manejo al primer año

Nota 2: El diferencial es el monto a analizar como inversión

Fuente: Elaboración propia.

- a) En primer lugar consideremos que el gobierno tiene programada la compra de una flotilla de 100 unidades para el servicio publico y tiene la opción de comprarlas a gasolina que es lo más convencional o utilizar hidrógeno, este proyecto implica un sobre costo de \$104,743,798 pesos.
- b) Al parecer el sobre costo de \$104,743,798 pesos dejaría fuera el proyecto de hidrógeno pero si incorporamos los beneficios que se obtienen por el diferencial en el precio del combustible y por la disminución en contaminación ambiental y sus efectos en salud publica en comparación al proyecto de gasolina, seremos capaces de demostrar la rentabilidad de este proyecto.

En el anexo presentaremos una tabla resumen sobre los datos de este proyecto y el desarrollo pormenorizado del calculo del TIR y Van, a continuación tan solo expondremos lo resultados.

Valor Presente Neto:¹⁶

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + 18\%)^i} = 2,961,789.65$$

Tasa Interna de Retorno, (recordar que esta es la tasa que hace que el VAN sea igual a 0):

$$TIR = VAN = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + 18.68\%)^i} = 0$$

Razón Costo Beneficio:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{299,521,118}{104,743,798} = 2.86$$

Estos resultados son alentadores pero cuentan con el inconveniente del financiamiento, es decir combatir la contaminación es rentable, pero pocas entidades pueden hacerlo, a excepción del gobierno pues para la empresa privada los costos iniciales de la inversión en comparación con la inversión en vehículos estándar lo hacen un proyecto poco rentable, esto no debe sorprendernos, ya que sabemos que la tecnología de utilización de hidrógeno aun no es competitiva y esa es la razón por la que hoy no esta en uso, sin embargo resulta interesante observar que ya es capaz de generar beneficios ambientales y que esto de hecho es la principal causa aunado con la tendencia alcista de los precios de los hidrocarburos de este análisis. Así que un proyecto como este debería considerarse parte de la curva de aprendizaje.

Recordemos que en la actualidad ningún tipo de energía limpia o renovable es capaz de competir, ni de ser rentable frente a los combustible fósiles, ejemplo de esto son los biocombustibles, los cuales no existirían sin los fuertes

¹⁶ Los datos sobre la elaboración de estos cálculos pueden consultarse en el anexo

subsidios que se les otorgan y que reaccionan a un interés de negocios de corto plazo. "Se prevé que el uso de etanol crecerá debido al crédito impositivo de \$0,51 por galón de etanol que ha dictado el gobierno federal de EE UU, y por el mandato de alcanzar 7500 millones de galones de "combustibles renovables" que serán usados como gasolina hacia el 2012, según se incluye en la reciente Ley de Política Energética" (ECOPORTAL, 2007).

El etanol cuesta bastante más que lo que se paga por él en el mercado, y sin los subsidios estatales y federales, de cerca de 3,000 millones al año, la producción de etanol en los Estados Unidos terminaría. Aunado a lo anterior tiene una desventaja extra la cual es que para producir este tipo de combustibles es necesario echar mano de tierras que hoy sirven para producir alimentos, cosa que no ocurre con el hidrógeno al cual aun le falta madurar pero sin los grandes subsidios que se le otorgan al etanol, garantiza que cuando logre ser competitivo en el mercado lo será de una manera real y no artificial como hoy lo hace el etanol.

Para continuar me parece pertinente el mostrar una razón más para pensar en que la utilización del hidrógeno como combustible será una realidad en el mediano plazo, para eso planteo a continuación el modelo de Ramsey ecológico, aplicado a la extracción de recursos petroleros en nuestro país.

4.5 Modelo de Ramsey aplicado a las reservas petroleras mexicanas.

En primera instancia para la aplicación de este modelo, planteado de forma final a este trabajo, es interesante ver que no solo son los costos directos, ocasionados por la contaminación ambiental como puede ser la salud pública, si no que tenemos que sumar el entorno de probable escasez relativa de petróleo en el corto plazo como anuncia la teoría del pico de Hubbert.

Tomaremos como referencia el trabajo (krutilla K., Reuveny R., 2004), dicho trabajo se encuentra inscrito dentro de la corriente de la economía ecológica y tiene como elemento fundamental proponer una solución analítica para un

modelo de crecimiento basado en el modelo de Ramsey, el cual es simplificado en términos de su estructura y supuestos funcionales para aislar la dinámica económica que se presenta de la utilización de un recurso natural con costos crecientes.

La gran cuestión para los autores es demostrar que la dinámica no lineal se puede presentar en este tipo de sistemas con la interacción de la acumulación del recurso y de los procesos bien comportados de extracción, en lugar de ser originado en el sistema a través no-convexidades en uno o más de estos componentes. Si es así, se deduciría que la dinámica no lineal es una posibilidad inherente en un crecimiento económico que el modelo asocia al medio ambiente a través de especificar una función de utilización del recurso de una manera realista que involucre costos de extracción crecientes del recurso.

Esto reforzaría las preocupaciones plasmadas en la literatura de elasticidad del ecosistema por los riesgos al bienestar asociados de la dependencia económica a los sistemas naturales. En particular, sugeriría que la complejidad dinámica dentro del componente económico del sistema mismo podría aumentar la diversidad dinámica originada en el sistema natural, aumentando la posibilidad de pérdida de estabilidad, cambios discontinuos a partir de un estado constante a otro, y fallas del sistema frente a las sacudidas.

En el anexo puede consultarse la tabla sobre la evolución histórica de las reservas probadas de petróleo en nuestro país y se puede observar como se han reducido nuestras reservas de hidrocarburos a la mitad de lo que teníamos en 1980 lo cual nos indica que estamos consumiendo el recurso más allá de la capacidad de incorporación de nuevas reservas, resultando en una descapitalización del recurso.

Dado que la decisión de extraer y consumir una unidad de hidrocarburos reduce la cantidad disponible para consumo futuro, la economía de recursos

naturales nos dice que la tasa de extracción óptima es aquella en donde el crecimiento de los precios es igual a la tasa social de descuento y a la tasa de interés de mercado, que es la relevante para el productor.

El problema principal de este planteamiento radica en que el petróleo es un bien no renovable, sin embargo existe el descubrimiento de nuevos yacimientos, lo cual permite resarcir el consumo en las reservas probadas de hidrocarburos, dichas reservas están medidas en años de reserva en base al consumo anual proyectado por PEMEX y la Secretaria de Energía.

Planteamiento del modelo

Datos principales:

- a) Tasa de explotación promedio de 1980-2002: 25.70%
- b) Tasa de relación reservas/producción 1980-2006: -19.70%
- c) Años de reservas probadas en 1980: 58
- d) Años de reservas probadas en 2006: 29

$$\int_0^T e^{-rt} u(c) dt \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- 1. $-rt$ representa la aversión al riesgo de posponer el consumo
 $\mu = u(c)$
- 2. $\mu' = \frac{\partial \mu}{\partial C} > 0$
 $\mu'' = \frac{\partial^2 \mu}{\partial^2 C} < 0$

Función de utilidad

$$u(C) = c + k \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

1. k' = variación de formación de capital (reservas probadas de petróleo)
2. $K(0) = k_0$ = Reservas probadas en el año 1980 (58 años)
3. $K(T) = k_T$ = Reservas probadas en el año 2006 (29 años)
4. c = variable de control (consumo de petróleo)
5. K = variable de estado (reservas probadas)

Ecuación Euler:

De la ecuación (1) aplicamos la ecuación Euler

$$F_K = F_{K,t} + F_{K,K}K' + F_{K,K'}K'' \dots\dots\dots(3)$$

$$F_{K,t} = \frac{\partial F_{K'}}{\partial t} = re^{-rt} \mu' - e^{-rt} \frac{\mu'}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} = re^{-rt} \mu' - e^{-rt} \mu'' C' \dots\dots\dots(4)$$

$$F_{K,K} = \frac{\partial F_{K'}}{\partial K} = 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$F_{K,K'} = \frac{\partial F_{K'}}{\partial K'} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

Sustituyendo las ecuaciones (3), (4), (5), (6) en la forma generalizada de la ecuación de Euler obtenemos:

$$e^{-rt} \mu' i = re^{-rt} \mu' - e^{-rt} \mu'' C' \dots\dots\dots(7)$$

Multiplicando (7) por (e^{-rt}) obtenemos:

$$\begin{aligned}
(e^{-rt} \mu' i &= r e^{-rt} \mu' - e^{-rt} \mu'' C') (e^{-rt}) \\
\mu' i &= r \mu - \mu'' C' \\
i &= r - \frac{\mu''}{\mu'} C' \\
-\frac{\mu''}{\mu'} C' &= i - r \\
-\frac{\mu''}{\mu'} C' &= i - r \dots\dots\dots(8)
\end{aligned}$$

Donde:

1. i = Tasa de explotación promedio de 1980-2002: 25.70%
2. r = Tasa de relación reservas/producción 1980-2006: -19.70%
3. $K_{(0)}$ = Reservas probadas en el año 1980 (58 años)
4. $K_{(0)}$ = Reservas probadas en el año 2006 (29 años)

A partir de los resultados de la ecuación (8) podemos plantear los siguientes escenarios:

- a) $i > r \rightarrow c' > 0$
- b) $i < r \rightarrow c' < 0$
- c) $r \Delta \rightarrow c' < 0$
- d) $r \nabla \rightarrow c' > 0$

Escenarios:

- a) $i > r \rightarrow c' > 0$, donde la tasa de explotación de petróleo > tasa de crecimiento de las reservas de petróleo, esto implica que el consumo aumenta, lo cual tiene como resultado una disminución en el stock del recurso y por tanto una disminución del consumo futuro.
- b) $i < r \rightarrow c' < 0$, donde la tasa de explotación de petróleo < tasa de crecimiento de las reservas de petróleo, esto implica que el consumo disminuye.

c) $r\Delta \rightarrow c' < 0$, si la tasa de crecimiento de las reservas de petróleo crece esto implica que el consumo de petróleo disminuye por tanto se aumenta el stock de petróleo.

d) $r\nabla \rightarrow c' > 0$, si la tasa de crecimiento de las reservas de petróleo disminuye esto implica que el consumo de petróleo aumenta por tanto se disminuye el stock de petróleo.

A manera de conclusión al respecto de este modelo podemos plantear que el escenario a) en el cual nos encontramos situados tiene consecuencias negativas sobre las reservas de petróleo y por tanto sobre la posibilidad de utilización del mismo de futuras generación.

Aquí debemos considerar el momento óptimo de la extracción del recurso pues es inevitable que su precio crezca conforme la demanda y la disminución de la oferta lo que no parece seguro es que México cuente con recursos en el momento en el que los precios alcancen sus topes máximos, antes de ser sustituidos por nuevas tecnologías como el hidrógeno que en el momento en el que sea competitivo servirá como freno al alza de precios de los hidrocarburos.

- CONCLUSIONES -

En este trabajo hemos intentado plantear un escenario en el cual se puedan generar alternativas viables para mitigar los efectos nocivos de la quema de combustibles fósiles como las gasolinas.

Sin embargo, pese a que el motivo principal de este proyecto es el estudiar y evaluar las posibilidades del hidrógeno resulta imposible económicamente producir este energético a partir de fuentes renovables en un futuro cercano, así que la solución planteada en este trabajo opta por la forma más viable económica y ecológicamente dadas las condiciones actuales.

Proponemos que el verdadero problema para la implementación de la nueva economía del hidrógeno es, la generación almacenaje y distribución de este gas, sin embargo encontramos que la forma más rentable actualmente es la generación in situ a través de plantas generadoras instaladas en las gasolineras actuales, con lo cual se evita los costos de transporte y almacenaje sin embargo esta solución implica el seguir utilizando combustibles fósiles como el gas natural para la generación de hidrógeno, consideramos que esto podría parecer una decepción en el corto plazo para los que creemos que el hidrógeno será la solución a nuestros problemas de contaminación, pero asumámosla como el primer paso hacia la economía del hidrógeno.

De nuestro estudio desprendemos, que las variables financieras de estudio como el TIR y el VAN presentan valores positivos que apuntan a la relevancia de llevar a cabo proyecto enfocados a la reducción de la contaminación ambiental en la ZMVM dado que el costo actual es gigantesco derivado de las 4 millones de toneladas emitidas a la atmósfera por el sector transporte.

La Tasa Interna de Retorno, presenta un valor de 18.68% y el VAN de \$2,961,789.65 pesos si bien el VAN no parece grande en relación al monto de inversión inicial, podríamos concluir que el que el valor sea positivo implica ese beneficio social que buscamos al analizar esta alternativa.

Recomendamos a los gobiernos locales de la ZMVM buscar fuentes alternativas a los hidrocarburos y no olvidar que el hidrógeno se desarrolla ya en muchos países y rezagarse en esto será una vez más, llegar tarde al desarrollo.

Por último para comprobar la hipótesis de este trabajo realizaremos el siguiente planteamiento:

Hipótesis. *"La utilización del hidrógeno en vehículos automotores en la ZMVM permitirá la compatibilidad entre el crecimiento económico y el desarrollo sustentable"*

La utilización del hidrógeno como sustituto a los combustibles convencionales (gasolinas, diesel, etc.,) esta en proceso de investigación e implementación con el fin de su posterior masificación, este combustible debe servir como freno al alza del precio de los combustibles convencionales, al tiempo que impide se detenga el crecimiento económico como consecuencia de este incremento en precios, recordemos que este es uno de los insumos básicos en todos los procesos productivos pues se asocia a la producción y distribución de mercancías, así que mantener precios estables en los combustibles resulta imperativo para la estabilidad económica.

En cuanto al desarrollo sustentable como se pudo observar con los resultados de la evaluación social la utilización del hidrógeno es rentable, pero adicionalmente a ese genera beneficios por la no emisión de contaminantes, estos resultados nos indican que podemos aceptar la hipótesis planteada pues si bien es cierto la inversión inicial resulta mucho más costosa en vehículos que utilicen celdas de combustible a hidrógeno vs vehículos convencionales, en un análisis de largo plazo con un horizonte de 20 años resulta rentable, el hidrógeno así que el abatir la contaminación con este método no resulta en un precio superior, que reduzca la riqueza nacional, al consumir recursos que pueden ser empleados para otros propósitos como educación y si podemos utilizar combustibles limpios y que aparte sean competitivos podremos

garantizar un mejor nivel bienestar para la población, dado que nos guste o no la rentabilidad económica es el parámetro con el que se mide, cualquier inversión.

La limitante de este proyecto ha sido como fue descrito ya en el apartado correspondiente a la evaluación, que por el momento solo los gobiernos podrían realizar dichas inversiones, ya que el proyecto es rentable pero altamente demandante de recursos iniciales, lo cual lo convierte en una limitante en un país en donde el crédito esta reservado a los agentes económicos grandes y no para aquellos que conforman la mayoría de la sociedad.

- ANEXO -

TABLA RESUMEN DEL PROYECTO DE INVERSION

Año	Costos de inversión						Beneficios	Ahorros por la utilización de Hidrógeno			Beneficios Netos
	Hidrogeno				Gasolina			Salud Publica	Días hombre	Muertes evitadas	
	Planta	Sueldos	Flotilla	Combustible	Flotilla	Combustible					
Inversión	\$2,200,000		\$131,646,000		\$29,160,000		-\$104,686,000				\$104,686,000
1	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
2	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
3	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
4	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
5	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
6	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
7	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
8	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
9	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
10	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
11	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
12	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
13	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
14	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
15	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
16	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
17	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
18	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
19	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356
20	\$200,000	\$57,798		\$1,233,712		\$20,904,000	\$19,412,490	\$470,164	\$17,927	\$309,775	\$20,210,356

Fuente: Elaboración propia

Calculo de VAN (Ev. Social)

Datos		Descripción
	18%	Tasa anual de descuento
-\$	104,686,000.00	Costo inicial de la inversión
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 1
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 2
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 3
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 4
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 5
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 6
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 7
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 8
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 9
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 10
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 11
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 12
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 13
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 14
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 15
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 16
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 17
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 18
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 19
\$	20,210,355.91	Rendimiento año 20
\$2,961,789.65		Valor Neto Actual

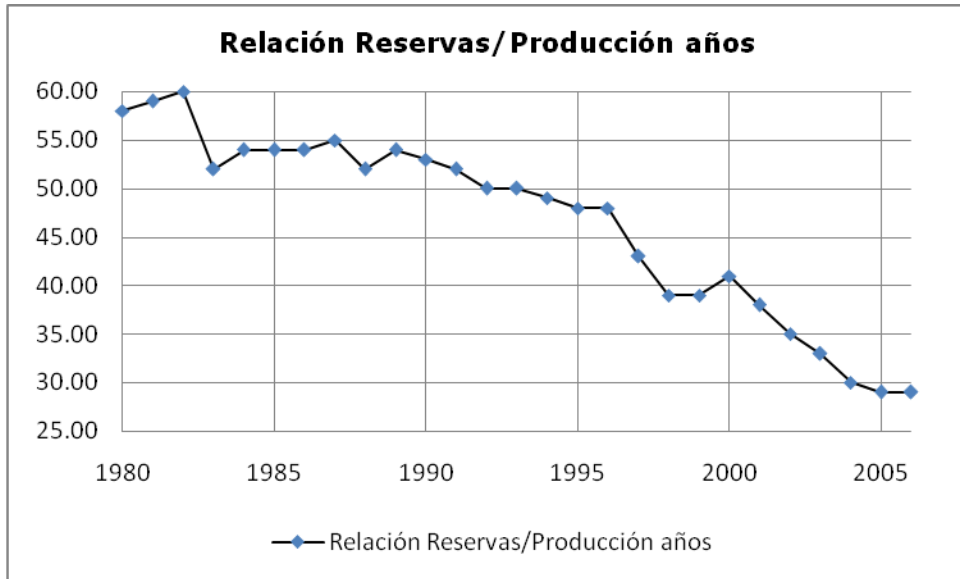
Tasa Interna de Retorno

Montos		Concepto
-\$	104,686,000.00	Inversión Inicial
\$	20,210,355.91	INA 1
\$	20,210,355.91	INA 2
\$	20,210,355.91	INA 3
\$	20,210,355.91	INA 4
\$	20,210,355.91	INA 5
\$	20,210,355.91	INA 6
\$	20,210,355.91	INA 7
\$	20,210,355.91	INA 8
\$	20,210,355.91	INA 9
\$	20,210,355.91	INA 10
\$	20,210,355.91	INA 11
\$	20,210,355.91	INA 12
\$	20,210,355.91	INA 13
\$	20,210,355.91	INA 14
\$	20,210,355.91	INA 15
\$	20,210,355.91	INA 16
\$	20,210,355.91	INA 17
\$	20,210,355.91	INA 18
\$	20,210,355.91	INA 19
\$	20,210,355.91	INA 20
	18.677135%	Tasa Interna de Retorno

Reservas totales de hidrocarburos

Periodo	Total mmbpce	Petróleo Crudo mmb	Condensados mmb	Gas Seco mmbpce	Relación Reservas/Producción años
1980	45,803	30,616	2,944	12,243	58
1981	60,126	44,161	3,063	12,902	59
1982	72,008	48,084	8,914	15,010	60
1983	72,008	48,084	8,914	15,010	52
1984	72,500	49,911	7,185	15,404	54
1985	71,750	49,260	7,150	15,340	54
1986	70,900	48,612	6,981	15,307	54
1987	70,000	48,041	6,839	15,120	55
1988	69,000	47,176	6,934	14,890	52
1989	67,600	46,191	6,821	14,588	54
1990	66,450	45,250	6,733	14,467	53
1991	65,500	44,560	6,738	14,202	52
1992	65,000	44,292	6,633	14,075	50
1993	65,050	44,439	6,786	13,825	50
1994	64,516	44,043	6,733	13,740	49
1995	63,220	43,127	6,648	13,445	48
1996	62,058	42,146	6,650	13,262	48
1997	60,900	42,072	6,400	12,428	43
1998	56,505	39,841	5,966	10,698	39
1999	57,741	41,064	5,875	10,803	39
2000	58,204	41,495	6,036	10,673	41
2001	56,154	39,918	5,574	10,662	38
2002	52,951	38,286	4,927	9,738	35
2003	50,032	36,266	4,384	9,382	33
2004	48,041	34,389	4,229	9,423	30
2005	46,914	33,312	4,248	9,354	29
2006	46,418	33,093	4,342	8,982	29

Fuente: (SENER, 2007)



Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla anterior

- BIBLIOGRAFÍA -

ACRAC. (2006). *Problemas y relaciones, lo que ocurre a nuestro mundo, con mirada sistémica, el cambio climático*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ecopibes.com/problemas/invernadero>

ASPO. (2006). Association for the Study or Peak Oil&Gas. *World oil production may have peaked-executive*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.peakoil.net>

ATECA A. V. (2006) *Economía de la Innovación Tecnológica*, Edit. Universidad del País Vasco, España.

BALLARD. (2006). Ballard Power System. *Full Cell Technology*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ballard.com>

BANXICO. (2007). Banco de México, *Tipo de cambio FIX*. Obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.banxico.org.mx>

BARKIN D. (1998) *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable*, Edit. JUS y Centro de Ecología y Desarrollo, México

CCCG. (2006). *Calentamiento Global, Cambios Climáticos, Problemas Ambientales, Efecto Invernadero, causas y discusión*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.cambioclimaticoglobal.com>

CESPEDES. (2002). *Reforma al sector eléctrico y fomento a las energías renovables*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.cce.org.mx>

CLEAN AIR. (2006). *Protecting everyone's right to breathe clean air*. Obtenida el 6 de enero de 2007 de <http://www.cleanair.org>

CONAE. (2004a). Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Ficha técnica de celdas de combustible enfocadas al transporte*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.conae.gob.mx>

CONAE. (2004b). Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Que son las energías renovables*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.conae.gob.mx>

CONAPO. (2005). Consejo Nacional de Población. *Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.conapo.gob.mx>

CONASAMI. (2007). *Comisión Nacional de Salarios Mínimos*, obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.conasami.gob.mx>

COVARRUBIAS G. F. (2001). *Expansión de la zona metropolitana de la ciudad de México y acciones del gobierno estatal*. Obtenida el 16 de julio de 2006 <http://www.iiec.unam.mx/20Covarrubias.pdf>

DAIMLER-CHRYSLER. (2006). *NECAR 5 Completes First Ever Fuel-Cell Cross Country Trip through the USA*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.daimlerchrysler.com>

DUQUE. E. G. (1991). *Problemática Ambiental*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.geocities.com/gonzaloduquee.html>

ECOPORTAL. (2006). *Tema Especial: Cambio Climático*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ecoport.net>

ECOPORTAL. (2007). *Tema Especial: Biocombustibles para los adictos al petróleo: ¿la cura peor que la enfermedad?.* Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ecoport.net>

ENKERLIN. (1997). *Definiciones Comunes "Comisión Brundtland (1987)*. Obtenida el 16 de julio de 2006 <http://www.zaragoza.unam.mx>

FALADORI, GONZÁLEZ. (2001). *En pos de la historia en educación ambiental*. Revista Tópicos en Educación ambiental. Editorial Academia Nacional de Educación Ambiental. Obtenida el 16 de julio de 2006 de <http://anea.org.mx/Topicos.html>

FERNÁNDEZ B. (2001, 26 de marzo). *La contaminación del aire, cómo abatir este problema de salud, Aspectos de salud ambiental y situación general*. La Jornada, obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.jornada.unam.mx>

FERNÁNDEZ B. (2006). *Tendencia mundial: petroleras invierten más, pero obtienen menos crudo*. Revista, Petroquímica, Petróleo Gas & Química, Edición 216. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.petroquimica.com.ar>

FORD MOTOR COMPANY. (2007). *Precios de camiones*, obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.ford.com.mx>

GARCÍA, M. (2003). *La economía del hidrógeno, la carrera ha comenzado*. Revista Mecalux News. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ariema.com>

GEO. (2006). *Global Environment Outlook, Contaminación Atmósfera: América Latina y el Caribe*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/384.html>

GÓMEZ, L. (2006, 19 de abril). *Pierden los capitalinos 5 años de su vida en embotellamientos de tránsito*, obtenida el 27 de marzo de 2007, de <http://www.jornada.unam.mx>

GONZÁLEZ E. A. (2003a). *La economía de la contaminación en la teoría del equilibrio general competitivo: I. Reformulación del modelo y efectos Stolper-Samuelson*, Edit. INIFAP. México

GONZÁLEZ E. A. (2003b). *La economía de la contaminación en la teoría del equilibrio general competitivo: II. Efectos Rybczynski y políticas eficientes y óptimas de control*, Edit. INIFAP. México

GONZÁLEZ R. (2006, 24 de abril). *México, principal fuente de emisión de gases de invernadero en AL y 14 en el mundo: BM*. La Jornada, obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.jornada.unam.mx>

HFP. (2006). *The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*. Obtenida el 6 de enero de 2007 de <http://www.hfpeurope.org>

HURTADO C. (1992). *Los instrumentos económicos aplicados al ambiente*. Edit. INE. México. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ine.gob.mx>

IEA. (2006). Agencia Internacional de Energía. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.iea.org>

IEO. (2006). Official Energy Statics from the U.S Government. *International Energy Outlook 2006*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>

IFC & CAFCP. (2006). *International Fuel Cells, Joins California Fuel Cell Partnership*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.fuelcellpartnership.org>

INE. (2004a). Instituto Nacional de Ecología. *Elaboración del programa de investigación en cambio climático*. Noviembre de 2004. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ine.gob.mx>

INE. (2004b). Instituto Nacional de Ecología. *Hacia un transporte Limpio: vehículos limpios de bajo consumo*. "The conference is organized by the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Energy Agency (IEA), with the participation of EC, ECMT, UN ECE, UNEP, UNDP, UNIDO, World Bank, and OLADE. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ine.gob.mx>

INE. (2005). Instituto Nacional de Ecología. *Investigación sobre Calidad del Aire, Tendencias en ciudades mexicanas*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ine.gob.mx>

INEGI. (1993). Instituto Nacional de Geografía e Informática. *Sistema de cuentas Nacionales*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.inegi.gob.mx>

INEGI. (2004). Instituto Nacional de Geografía e Informática. *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México 1999-2004*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.inegi.gob.mx>

INEGI. (2007). Instituto Nacional de Geografía e Informática, *Banco de Información Económica*, obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.inegi.gob.mx>

INVI. (2006). Instituto de Vivienda del Distrito Federal. *Programa General de Desarrollo del D.F.* Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

IRACHETA C. A. (2003). *Gobernabilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Revista Papeles de Población pp.211-239. México

JARDON U. J. (1995). *Energía y Medio Ambiente una perspectiva económica y social*. Edit. UNAM. México.

JOAN, M. (1999) *Introducción a la economía ecológica*. Edit. Rubes. Barcelona España.

KONDRATIEFF N. (1944). *Ensayos sobre el ciclo económico*. Edit. FCE. México.

KRUTILLA K., REUVENY R. (2004) *A Renewable Resource-based Ramsey Model with Costly Resource Extraction*, Edit. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

LEPIC A. (2006). *La Guerra por recursos energéticos ya comenzó el poder del petróleo en el siglo XX*. Edit. Red Voltaire. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.voltairenet.org>

LOZANO G., VILLA P. E., MONSALVE G. S., (1997). *El modelo de generaciones traslapadas como modelo monetario. Cuadernos de Economía*. Departamento de Teoría y Política Económica, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá, Colombia. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://ladb.unm.edu/econ.html>

MARCANO E. (2006). *Educación ambiental en la república dominicana, Ecología y ambiente*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.jmarcano.com/index.html>

MARTÍNEZ C. (2001, 13 de julio). *Crisis energética y geopolítica del petróleo*. La Jornada. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.jornada.unam.mx>

MEDINA M. (2006). *Ciencia, tecnología y cultura, bases para un desarrollo compatible*. Edit. Universitat de Barcelona Invescit. España.

MOLINA. (2005a). *La importancia de los combustibles de ultra bajo azufre para México*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.centromariomolina.org>

MOLINA. (2005b). *Comunicados de prensa*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.centromariomolina.org/comunicados.html>

MOLINA. (2007, 1 de enero). *Exigen normatividad ambiental a chocolates. Alianza automotriz*. Obtenida el 6 de abril de 2007, de <http://alianzaautomotriz.com.mx>

NADAL, A. (2003, 30 de noviembre). *Lecciones para América latina, los siete mitos del TLC*. La Jornada. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.jornada.unam.mx>

NADAL, A. (2007, 21 de marzo). *Petróleo: del mal holandés a la transición energética*. Obtenida el 27 de marzo de 2007, de <http://www.jornada.unam.mx>

NEGRÃO C. R. (2000). *Desarrollo Sustentable*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.unesco.org.uy>

OPTI. (2007). Unión Europea. *The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*. Obtenida el 6 de enero de 2007 de <http://ec.europa.eu>

PACHECO, C. (1996). *La contaminación del aire en la ciudad de México*. Revista de Cultura Ecológica "ArcoRedes", año 3, No. 15, México, D.F.

POZMVM. (1998). Secretaría de Desarrollo Social. *Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México*. México.

PRAXAIR. (2007). *Planta generadora de hidrógeno*, obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.praxair.com.mx>

PREMIA. (2001). Instituto Nacional de Ecología. *Programa Rector Metropolitano Integral de Educación Ambiental*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.ine.gob.mx>

PROAIRE. (2002). Gobierno del D.F. Secretaria del Medio Ambiente. *PROAIRE 2002-2010*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

PULIDO A. (2003). *Desarrollo Sostenible: Un reto central para el pensamiento económico*. Revista Estudios de Economía aplicada, agosto, año/vol. 21, numero 002. Edit. ASEPELT. España. pág. 203-220

RENGIFO E. R. (2005). IV Conferencia Internacional de Energías renovables, ahorro de energía y educación energética, Ponencia, Energías Renovables en la electrificación rural descentralizada. Obtenida el 16 de julio de 2006, de www.cujae.edu.cu

REVISTA TECNOCENCIA. (2005). Pilas de combustible de hidrogeno, el 1 de abril de 2007 de <http://www.tecnociencia.es>

RIFKIN. J. (2002). *La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra*. Edit. Paidós. Barcelona España.

RODRÍGUEZ T., RUIZ S. (2001). *El concepto de capital natural en los modelos de crecimiento exógeno*. Revista Análisis Económico, segundo semestre, año/vol. XVI, número 033. Edit. UAM. México. pág. 109-128

RUIZ R. L. (2002). *La contaminación atmosférica por vehículos automotores en el valle de México*. Edit. Tu Obra. México.

SAN MIGUEL, DUFOUR, CALLES, BOTAS. (2005). *La economía del hidrógeno – una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI*. Edit. Grupo de Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET), Universidad Rey Juan Carlos. España.

SCHUMPETER J. A. (1942). *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. Edit. FCE. México

SCIENCE & NASA. (2006). *Headline News*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://science.nasa.gov>

SECRETARÍA DE SALUD. (2006). *Sala de prensa, Difusión*. México. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.salud.gob.mx>

SEMARNAT. (2004). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Comité Mexicano para proyectos de reducción y captura de gases de efecto invernadero*. México.

SEMARNAT. (2005). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *La importancia de los Combustibles de Ultra Bajo Azufre para México*. México.

SENER. (2003). Secretaria de Energía. *Prospectiva tecnológica del sector energía para el siglo XXI, Visión al 2003*. México.

SENER. (2006). Secretaría de Energía. *Prospectiva de petrolíferos 2005-2014*. México.

SENER. (2007). Secretaria de Energía, *Las reservas de Hidrocarburos de México*, Pemex Exploración y Producción y Anuario Estadístico Pemex, varios años, obtenido el 1 de abril de 2007 de www.sener.gob.mx

SETRAVI. (2000). Secretaria de transporte y vialidad. *Programa integral de transporte y vialidad 2001-2006*. Obtenida el 5 de abril de 2007, de <http://www.setravi.df.gob.mx>

SETRAVI. (2004). Secretaria de transporte y vialidad. *El transporte en la región centro de México vol. 1, diagnóstico general*. Obtenida el 5 de abril de 2007, de <http://www.setravi.df.gob.mx>

SIMA. (2001). *Calidad del Aire en la ciudad de México*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sima.com.mx>

SMA. (2000a). Secretaria del Medio Ambiente. *Biblioteca, Acervo Ambiental*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

SMA. (2000b). Secretaria del Medio Ambiente. *Inventario de Emisiones 2000*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

SMA. (2003). Secretaría del medio ambiente. *Actualización del programa hoy no circula*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

SMA. (2004). Secretaría del medio ambiente. *Contaminación del aire y transporte vehicular en la ZMVM*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.sma.df.gob.mx>

Sociedad Mexicana de Hidrógeno A.C. (2003) (SMHAC, 2003), obtenida el 27 de marzo de 2007, de <http://www.smh.org.mx>

TESLA (2007). Tesla Motors. Sala de prensa, obtenido el 1 de abril de 2007 de <http://www.teslarmotors.com>

UNDESA. (1992). UN Department of economic and social affairs. *Programa 21 Río de Janeiro Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.un.org>

UNDESA. (2003). UN Department of economic and social affairs. *Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible*. Obtenida el 16 de julio de 2006 <http://www.un.org>

VEGA L. E. (2006). *Un sistema de cuentas ambientales: ¿Para qué?,*. Edit. INE. México

VIANA H., y CERVILLA M. (1992). *The role of science in technological innovations*. Revista Espacios. Obtenida el 16 de julio de 2006, de <http://www.revistaespacios.com>

WHITE HOUSE. (2007). *El Estado de la Nación: Programa de Energía Avanzada*. Obtenida el 6 de enero de 2007 de, <http://www.whitehouse.gov/news>