



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA

ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y EL DESARROLLO
SUSTENTABLE

LÍMITES ECONÓMICOS DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN
FÓSIL Y PERSPECTIVAS DE NUEVOS COMBUSTIBLES VEHICULARES PARA EL
CASO DE LA ZMVM

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE: DOCTOR EN ECONOMÍA

PRESENTA:

JESÚS SALVADOR JIMÉNEZ RIVERA

COMITÉ TUTORAL

DR. ÁNGEL DE LA VEGA NAVARRO
DRA. ROSARIO PÉREZ ESPEJO
DR. FERNANDO RELLO ESPINOSA
DR. JORGE MARCIAL ISLAS SAMPEIRO
DR. CÉSAR ADRIÁN RAMÍREZ MIRANDA

FACULTA DE ECONOMÍA
INSTITUTO DE INV. ECONÓMICAS
FACULTAD DE ECONOMÍA
POSGRADO EN ECONOMÍA
POSGRADO EN ECONOMÍA

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

- AGRADECIMIENTOS -

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

En primer lugar a la Universidad Nacional Autónoma de México y en particular a la Facultad de Economía 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 al Dr. Ángel de la Vega Navarro, 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 este doctorado.

Quiero también expresar mi gratitud a los miembros de mi comité tutorial a la Dra. Rosario Perez Espejo, y a los Drs. Américo Saldívar Valdéz, Fernando Rello Espinosa, Jorge Islas Sampeiro, y César Adrián Ramirez Miranda, así como a todos los profesores que me dieron clases desde el nivel de licenciatura, maestría y doctorado, en la Facultad de Estudios Superiores Aragón y la Facultad de Económica.

Finalmente quiero agradecer a mi hijo Claudio Alejandro Jiménez Escobar por ser el motor de mi vida, a mi esposa Jessica Lorena Escobar Delgadillo y a mi madre María de Jesús Rivera Chávez por apoyarme siempre y por impulsarme en los momentos difíciles a lo largo de este doctorado muchas gracias las quiero mucho.

INTRODUCCIÓN

La realización de esta investigación obedece a la existencia de problemas ambientales y de salud pública generados por la utilización de combustibles fósiles en el sector transporte. Sin embargo, los energéticos de origen fósil son un elemento fundamental de la economía, por tanto, no es posible minimizar su consumo hasta niveles que eliminen sus efectos negativos sin que esto signifique la disminución de la actividad económica y con esto la reducción del bienestar de la sociedad, por lo que se hace necesaria una transición energética.

Esta investigación está orientada a examinar en primer lugar, la viabilidad de la utilización de combustibles alternativos (Hidrógeno ^{1/} y los distintos tipos de biocombustibles), basando el análisis en los costos sociales y precios de las energías convencionales y alternativas. En segundo lugar, a la evaluación de las contribuciones que éstos pudieran hacer en la mitigación de las externalidades generadas por la utilización de combustibles fósiles en el sector transporte (público y privado) en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Las preguntas que guían esta investigación son las siguientes:

- A) ¿Cuáles son las implicaciones del costo social y la internalización de las externalidades, en el marco de la economía ambiental?
- B) ¿Cuál es el panorama internacional y nacional de las energías de origen fósil y las energías alternativas?
- C) ¿Cuál ha sido el impacto de los planes, programas y estrategias de gobierno enfocadas a disminuir la contaminación atmosférica producto del sector transporte y reorientar la matriz energética hacia combustibles alternativos?
- D) ¿El costo social, (costo privado más costo de las externalidades) debe ser la variable determinante en la adopción de los combustibles alternativos?

El análisis se realizó para la ZMVM, ya que esta concentra el 18.0% de la población nacional en 0.25% del territorio del país; en donde el crecimiento del parque vehicular ha registrado una tasa de crecimiento mayor a la de la población (PROAIRE 2011-2020).

Entre los años 1990 y 2001 se estimó en 75.0% el crecimiento del parque vehicular (SEMARNAT, 2003).

^{1/} El hidrógeno se utiliza en una celda de combustible la cual opera como una batería, genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión, y a diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recargar, produce energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible (hidrógeno), el único subproducto que se genera es agua 100% pura.

El sector transporte en el Valle de México tiene la mayor participación en la generación de contaminantes atmosféricos con tendencias crecientes, debido a que en promedio se registra un incremento anual de la flota vehicular de aproximadamente 5.9% y se retira solo el 3.9% de automotores en circulación (lo que genera un incremento neto de anual de 2.0%) (PROAIRE, 2002). Según los datos más recientes en 2008 existía un total de 4.5 millones de vehículos automotores en la ZMVM (PROAIRE 2011-2020).

En 2008, el consumo promedio diario de combustibles fósiles en la ZMVM se estimó en 65.8 millones de barriles equivalentes de gasolina, es decir, alrededor 10,455 millones de litros por día, este consumo deriva en la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera, por lo anterior se hace necesario reducir los niveles de contaminación emitidos por los vehículos. (Comisión Ambiental Metropolitana, 2002) y (PROAIRE-2011-2020).

Según el Inventario de gases de efecto invernadero de la ZMVM (2006), el sector transporte es responsable de la emisión del 56.0% del bióxido de carbono (CO₂), 96.7% del óxido nitroso (N₂O), así como 1.5% del metano (CH₄) (siendo éste el principal emisor por fuentes antropogénicas). Estas emisiones provocan costos ambientales, económicos y sociales que inciden de manera directa sobre la actividad económica.

El propósito de éste trabajo es contribuir a la evaluación de fuentes alternas para mitigar los efectos de las emisiones contaminantes de vehículos automotores, al analizar la factibilidad de la utilización de combustibles alternos como el hidrógeno y los distintos tipos de biocombustibles ^{2/} participando del debate sobre su viabilidad económica, social y ambiental.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica de las urbes modernas tiene una relación directa con la utilización de los hidrocarburos y la emisión de gases de efecto invernadero, de esta manera un cambio en la matriz energética en la que se disminuye el consumo de energía fósil e incrementa el consumo de energías alternativas que ofrezcan resultados ambientales, resulta un factor fundamental para la mitigación de la contaminación global, así como sus efectos sobre la economía y la sociedad.

Adicionalmente, la tesis del pico de Hubbert, que indica el punto temporal a partir del cual las compañías petrolíferas no conseguirán suplir las reservas de crudo que se agotan con el

^{2/} Elegidos, el primero, por ser la gran esperanza energética en el sector, y el segundo, por considerarse una realidad en la actualidad.

hallazgo de otras nuevas, pronostica el momento en el que la producción de hidrocarburos decrecerá.

Estos dos argumentos en conjunto, emisiones contaminantes por la utilización de combustibles de origen fósil y el pico de Hubbert, anuncian el punto más alto de la producción petrolera y con ello el declive de la producción en un contexto en el que la población y la demanda global de hidrocarburos tiende a incrementar, plantean la necesidad de un cambio en la matriz energética a nivel mundial por las externalidades generadas en su utilización.

Debemos recordar que el petróleo es un recurso finito del cual depende la economía mundial en una medida casi absoluta. De acuerdo con datos de la Secretaría de Energía, en 2008, la producción mundial de crudo promedió 81.8 millones de barriles diarios, cifra 0.5% superior a los 81.4 millones de barriles diarios registrados en 2007. (SENER, 2009)

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía la combustión de energías de origen fósil es responsable de la emisión de 41.0% del total de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (EIA, 2010), de las cuales el sector transporte contribuye con el 23.0% a las emisiones globales de CO₂. De esta manera, el sector transporte es responsable del 56.1% de las emisiones de CO₂ producto del consumo de hidrocarburos.

A nivel nacional, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía (2009), el consumo de energía es equivalente a 8,478.5 PJ ^{3/}, 3.5% más que los 8,448.8 PJ registrado en 2007. En el mismo documento se indica que el sector transporte consumió 2,427.5 PJ, correspondiente al 50.4% del consumo energético total (SENER, 2009)

En cuanto a la Zona Metropolitana del Valle de México el crecimiento poblacional ha expandido la mancha urbana en forma horizontal sin un ordenamiento y planeación, haciendo que las distancias y tiempos de traslado dentro de la misma se incrementen. Asimismo, la falta de un transporte público metropolitano masivo y eficiente, contribuye al crecimiento de la flota vehicular, lo cual ha ocasionado que el sector transporte sea el más importante, en lo que se refiere a demanda energética y generación de contaminación atmosférica.

Al respecto, la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal indica que al año 2006, la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero que se generaron en la ZMVM son resultado de la quema de 545 PJ de energía de combustibles fósiles (SENER, 2008). En este mismo periodo el sector transporte consumió 312 PJ, que representa el 57% de la demanda total

^{3/} Un Joule: es la cantidad de energía que se utiliza para mover 1 kg masa a lo largo de una distancia de 1 m, aplicando una aceleración de 1 m/s², un petajoule (PJ), siguiendo los factores de conversión, es equivalente a 1 Joule x 10¹⁵

de energía de la ZMVM. La gasolina magna fue responsable 202.8 PJ (65.0% de los 312 PJ consumidos en la ZMVM) y el diesel 68.6 PJ (22.0% de los 312 PJ) siendo estos los principales combustibles utilizados con un 87.0% de los 312 PJ utilizados por el sector transporte (SENER, 2007)

Pese a la existencia de cambios en la tecnología del sector transporte y que éstos han dado como resultado que los procesos actuales de combustión interna de los vehículos tengan niveles de emisión de contaminantes más bajos a los que se tenían en los años noventa, la generación de gases de efecto invernadero se ha incrementado proporcionalmente con el aumento de la demanda energética. El incremento de las emisiones contaminantes, implica un aumento en los costos económicos para la sociedad, por los efectos negativos de la contaminación del aire sobre la salud, entre otros.

Lo anterior justifica la necesidad de buscar combustibles alternativos a los hidrocarburos, con lo cual mitigaríamos las emisiones contaminantes. Debemos recordar que tanto el hidrógeno como los biocombustibles son sustancialmente más limpios ^{4/} que los hidrocarburos. Así que los beneficios para la sociedad están estrechamente vinculados con el número de vehículos que utilicen los combustibles alternativos y la cantidad de contaminantes que se dejan de emitir a la atmosfera, producto de estos nuevos combustibles.

OBJETIVO GENERAL

Comparar el costo social de los combustibles alternativos y convencionales en el sector transporte, para determinar cuál de ellos ofrece los mayores niveles de rentabilidad social.

Objetivos particulares:

- A) Discutir los orígenes de la preocupación ambiental en la teoría económica aplicada al medioambiente, para comprender los conceptos de costo social, costo privado y externalidades.
- B) Analizar los factores económicos y ambientales que impulsan la búsqueda de combustibles alternativos a los de origen fósil en el sector transporte.
- C) Examinar los planes, programas y estrategias, nacionales y locales, que buscan la implementación de energías alternativas en el sector transporte y los impactos que éstos han tenido en la materia.

^{4/} Si bien el hidrógeno y los biocombustibles son sustancialmente más limpios que los hidrocarburos en el sector transporte, esto depende de la tecnología empleada en su producción.

- D) Calcular el costo social de la utilización de energías de origen fósil en el sector transporte y contrastarlo con el costo social de la utilización de energías alternativas hidrógeno y biocombustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México.

HIPÓTESIS GENERAL

Los costos evitados de las externalidades generadas por el consumo de combustibles de origen fósil en el sector transporte, son superiores a la diferencia de los precios de mercado de los combustibles convencionales respecto de los combustibles alternativos.

METODOLOGÍA

Para poder comprobar las hipótesis de esta investigación y alcanzar los objetivos de la misma, se analizó el problema desde la perspectiva de las externalidades resultado de la diferencia entre los costos sociales y privados de la utilización de los distintos tipos de combustibles en el sector transporte con un análisis de caso para la ZMVM.

En el capítulo I: Se realizó una revisión de la teoría económica y sus implicaciones en el medio ambiente, investigando la relación que existe entre las externalidades, los costos sociales y privados, así como la equidad intergeneracional en el análisis económico del medio ambiente y el papel del avance tecnológico en la internalización de los costos.

Para el capítulo II: Se realizará una revisión del panorama de las energías de origen fósil, al tiempo que se investiga cuáles son los efectos que su utilización masiva tiene sobre el medio ambiente y la sociedad, poniendo especial interés en la energía destinada al sector transporte, describiendo la problemática en la materia a nivel global, nacional y regional para la ZMVM.

El capítulo III: Se investigará el contexto de las energías renovables en México y los posibles impactos de la política pública en la materia, así como sus efectos en la mitigación de emisiones atmosféricas en el sector transporte a nivel nacional, mediante la evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados en los planes, programas y estrategias en materia energética y nuevas alternativas de energía. Esta evaluación tiene dos niveles: federal y local, con énfasis en la ZMVM, la cual se centró en revisar las estrategias propuestas en dichos instrumentos de política pública para la utilización de energías renovables y los impactos en la ZMVM.

El capítulo IV: Se realizará una valoración de los costos sociales de la utilización de combustibles de origen fósil en el sector transporte, comparándolo con el empleo de biocombustibles e

hidrógeno para dicho sector, con el objetivo de identificar las principales externalidades de cada uno de estos combustibles a partir del año 2012, y proyectando dicho análisis hasta el año 2032, para el análisis se tomara en cuenta las estimaciones de consumo de combustibles, además es importante mencionar que cada energético presenta peculiaridades que se plantearan a lo largo del capítulo.

Adicionalmente se realizará una propuesta por medio un estudio de caso en el que se pueda evaluar la viabilidad del hidrogeno como combustible de un sistema de transporte masivo en la ZMVM.

A continuación se describe las variables que se esperan calcular con la valoración de los costos sociales y las razones e igualdades que permita estimar el comportamiento de dichas variables.

Valoración social	Razones e igualdades
<p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de combustibles fósiles:</p> <p>Precio de mercado de los combustibles fósiles. (PCF)</p> <p>Costos asociados a la utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)</p> <p>Avances tecnológicos (Eficiencia en procesos) (ATF)</p> <p>Efectos de la escasez en el precio privado de los combustibles fósiles. (EE)</p> <p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de biocombustibles:</p> <p>Precio de mercado de los biocombustibles. (PBC)</p> <p>Precio de indiferencia de la producción de biocombustibles (PIBC)</p> <p>Costos asociados a la utilización de biocombustibles (externalidades). (CEB)</p> <p>Costo social evitado por la no utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)</p> <p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de hidrógeno:</p> <p>Precio de mercado de hidrógeno. (PCH)</p>	<p>De manera adicional a la evaluación social de proyectos se usaran los resultados obtenidos de esta para resolver el siguiente sistema de ecuaciones con el objetivo de proyectar los escenarios derivados del proyecto de investigación:</p> <p>1) $CSF = PCF + CEF - ATF + EE$</p> <p>2) $CSB = PBC + PIBC + CEB - CEF$</p> <p>3) $CSH = PH + CEH - CEF - ATH$</p> <p>4) $PEFB = (CSF = CSB)$</p> <p>5) $PEFH = (CSF = CSH)$</p> <p>En donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>CSF: Costo social de combustibles fósiles</i> • <i>CSB: Costo social de los biocombustibles</i> • <i>CSH: Costo social del hidrógeno</i> • <i>PEFB: Equilibrio fósiles, biocombustibles</i> • <i>PEFH: Equilibrio fósiles, hidrógeno</i>

Costos asociados a la utilización de hidrógeno (externalidades). (CEH)	
Costo social evitado por la no utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)	
Avances tecnológicos (Eficiencia en procesos) (ATF)	

FUENTE: Elaboración propia.^{5/}

Para el caso del cálculo de las externalidades se revisó la literatura existente y se tomaron los valores obtenidos en dichas investigaciones con el fin de poder obtener un acercamiento al costo de las externalidades generadas por la utilización de combustibles fósiles y de los combustibles alternativos que se plantean como sustitutos.

^{5/} Es importante mencionar que las razones planteadas en el cuadro anterior son de elaboración propia, debido a que no se dispone de una metodología en la literatura económica diseñada para calcular el costo social de la utilización de los combustibles de origen fósil, ni de los combustibles alternativos que se analizarán en esta investigación, por lo cual he planteado estas relaciones como método para lograr un acercamiento al costo social de los combustibles vehiculares.

ÍNDICE

Introducción i

Capítulo I: *El medio ambiente en el análisis económico*

1.1	El origen de la discusión ambiental en la teoría económica	1
1.2	Las externalidades y la diferencia entre costos sociales y privados.....	5
1.3	La contaminación, el medio ambiente y el stock de recursos naturales en la teoría económica	9
1.4	El papel del avance tecnológico y sus implicaciones en la utilización de los recursos naturales...	16

Capítulo II: *Perspectivas del sector energético y sus efectos sobre el medio ambiente y la sociedad*

2.1	Perspectivas del consumo, oferta y demanda de energías convencionales	21
2.1.1	Contexto Internacional.....	21
2.1.2	Contexto Nacional	29
2.1.3	Contexto de la Zona Metropolitana del Valle de México.....	30
2.2	Problemas ambientales relacionados con el petróleo	32
2.3	Efectos en la salud pública relacionados con la utilización de energías de origen fósil	36
2.4	Contexto Internacional para la implantación de energías renovables	39
2.4.1	Panorama de las energías alternativas para el sector transporte	41

Capítulo III: *Los impactos de la política pública en materia de energías alternativas a nivel nacional y en la Zona Metropolitana del Valle de México*

3.1	Las energías renovables en México	43
3.1.1	Energías alternativas con mejores perspectivas en el sector transporte en México	45
3.2	La política pública en materia de energías renovables y mitigación de emisiones contaminantes a nivel federal	50
3.3	La política pública en materia de energías renovables y mitigación de emisiones contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México	56
3.4	Resultados de la política pública en materia de energías renovables y mitigación de emisiones contaminantes a nivel federal y local.....	61

Capítulo IV: *Valoración social de la utilización de combustibles alternativos en la Zona Metropolitana del Valle de México*

4.1.	Determinación de las externalidades generadas por el sector transporte en la ZMVM	67
4.1.1.	Origen del proyecto y objetivo del estudio.....	69

4.1.2. Situación actual	69
4.2. Identificación de los costos derivados de la utilización de combustibles de origen fósil en el sector transporte en la ZMVM	72
4.3. Identificación de los costos derivados de la utilización de los biocombustibles en la ZMVM	78
4.4. Identificación de los costos sociales de la utilización de hidrógeno como combustible en el sector transporte en la ZMVM	82
4.5. Valoración social de la utilización de combustibles de origen fósil vs combustibles alternativos en el sector transporte en la ZMVM	91
4.6. Conclusiones	94
Bibliografía	97

- CAPÍTULO I -

EL PAPEL DE LAS EXTERNALIDADES EN EL ANÁLISIS ECONÓMICO AMBIENTAL Y SUS IMPLICACIONES EN EL AVANCE TECNOLÓGICO

“Cuando las actividades de un agente económico, productor o consumidor, afectan las posibilidades de actividad de otro agente económico y quien provoca este efecto, no paga o cobra por ello, se está en presencia de una externalidad”.(Sanchez & Ledezma, 2003)

INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se realizó una revisión de la teoría económica y sus implicaciones en el medio ambiente, abordando la relación que existe entre las externalidades, los costos sociales y privados, así como la equidad intergeneracional y el papel del avance tecnológico en la internalización de los costos externos a través de los modelos económicos aplicados al medio ambiente.

Pregunta tópico	Objetivo
¿Cuáles son las implicaciones del costo social y la internalización de las externalidades, en el marco de la economía ambiental?	Discutir los orígenes de la preocupación ambiental en la teoría económica aplicada al ambiente, con el objeto de comprender los conceptos de costo social, costo privado y externalidades.

1.1. EL ORIGEN DE LA DISCUSIÓN AMBIENTAL EN LA TEORÍA ECONOMICA

El punto de partida de este trabajo será discutir el papel del medio ambiente en el análisis económico, porque en el largo plazo la viabilidad de la sociedad depende de poner en marcha un proceso que permita el equilibrio entre las necesidades sociales y económicas presentes con los procesos naturales que la sustentan, dado que estos tienen el potencial de convertirse en un verdadero límite del crecimiento económico.

Al respecto autores como Verdejo (2000), señalan que “La economía ha pasado de una era en la que la acumulación del capital (capital hecho por el hombre) era el factor que limitaba el desarrollo económico, a otra en la que el factor limitante es lo que resta del capital natural. Según la lógica económica se debería de maximizar la productividad de este factor cada día más escaso y tratar de aumentar su disponibilidad”.

El medio ambiente se convirtió en un punto fundamental en el debate internacional desde 1972 con la realización de la conferencia de Estocolmo en la que se señaló que “los recursos naturales del planeta, incluidos, el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente áreas representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación y ordenación, según convenga” (PNUMA, 1972).

Además a finales de la década de los 80's y principios de los 90's se acuñó el concepto “*desarrollo sustentable*” el cual pasó a formar parte del discurso de todos los ámbitos académicos, gubernamentales, privados, multilaterales y de la sociedad civil ocupada de temas relacionados con el medio ambiente. El concepto desarrollo sustentable fue expuesto en el llamado Informe Brundtland ^{1/}, el cual considera la inclusión de factores sociales, económicos, institucionales y ambientales, en el diseño de políticas públicas.

Posteriormente, en 1992, se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida comúnmente como “*Cumbre para la Tierra*”, en esta los países participantes acordaron adoptar un enfoque de desarrollo que protegiera el medio ambiente, mientras se aseguraba el desarrollo económico y social, asimismo, en 2002, la declaración de Johannesburgo sobre Desarrollo Sustentable señaló: “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).

Debido a que el desarrollo sustentable exige mejorar la calidad de vida de toda la población, sin que se incremente la utilización de nuestros recursos naturales más allá de las posibilidades del planeta, resulta fundamental la inclusión del análisis económico dentro de la agenda del desarrollo sustentable. Esto último debido a que en la teoría económica obtener mayores beneficios y disminuir los costos siempre ha sido el objetivo primordial. Sin embargo, en cuestiones ambientales, usar menos recursos, producir más y mejorar la calidad de vida de la población significaría eficientar los

^{1/} En 1987, por encargo del entonces Secretario General de la ONU, Javier Pérez de Cuellar, la Dra. Gro Harlem Brundtland organizó y dirigió la Comisión Mundial sobre Desarrollo y Medio Ambiente. El informe de esa Comisión, llamado “Nuestro Futuro Común” y conocido como “El Informe Brundtland” estableció el concepto de desarrollo sustentable que ha sido desde entonces incorporado a todos los programas político-económicos. La actividad de la Comisión Brundtland condujo a la convocatoria de la Cumbre de la Tierra, celebrada en Rio de Janeiro, en el año de 1992.

procesos productivos y realizar mejoras regulatorias, sin olvidar que en el actual sistema económico el eje rector es la búsqueda del beneficio privado, el cual además permite el desarrollo de las innovaciones que intentan optimizar los procesos productivos.

No obstante lo anterior, el concepto de desarrollo sustentable, ha sufrido severas críticas porque las condiciones para llevarlo a la práctica se cruzan en el camino del crecimiento económico y de la utilidad social de corto plazo, de ahí que un enfoque económico que intenta medir los costos ambientales se plantea complementario al concepto de desarrollo sustentable, mostrando los beneficios económicos cuantificables de preservar el ambiente y de tomar medidas para disminuir el impacto sobre este.

Mucho se ha escrito sobre el concepto de desarrollo sustentable, en donde la visión general entre los autores que han abordado el tema, tiene que ver con la compatibilidad del crecimiento económico y utilización de los recursos naturales, de lo anterior resulta evidente que el objetivo a alcanzar es que la técnica de los procesos productivos sea cada vez más respetuosa del capital natural y se asuman los costos que tiene la contaminación, comúnmente denominadas externalidades, como un costo más de la producción.

Al analizar los efectos externos derivados de las actividades económicas (externalidades) como: la contaminación, asumiéndola en la forma de costos sociales en los procesos productivos, entraremos en la lógica de buscar su reducción como ocurre con cualquier otro costo.

En la teoría económica siempre se busca maximizar el beneficio y minimizar los costos, cosa que no ocurre actualmente con la mayoría de las externalidades, dado que no son debidamente contabilizadas y cobradas a quien genera efectos negativos al medio ambiente y la sociedad, obteniendo beneficios privados por ello, dicha situación obedece a la falta de mercados o mecanismos que permitan su adecuada regulación y control en el ámbito institucional.

A fin de ilustrar lo esa problemática, a continuación se exponen algunas definiciones del concepto de sustentabilidad que ayudan a comprender la vinculación económica con el medio ambiente:

- “La cuestión de la sustentabilidad queda determinada a un *estado estacionario* como una forma de alcanzar las necesidades presente sin afectar las futuras” (Jardón, 1995).
- “La sustentabilidad como objetivo económico a largo plazo debería quedar expresado en términos de costos de oportunidad del futuro”(Siebert, 1998).

- “La sustentabilidad es un objetivo de largo plazo, cuyo logro requiere una decisión social, sobre la conveniencia de preservar un sistema económico que demanda: 1) una escala sustentable de la economía en relación con sus ecosistemas, 2) una distribución justa de los recursos y las oportunidades entre las generaciones presentes y futuras, y 3) una eficiencia asignativa de recursos que contabilicen adecuadamente el capital natural” (Constanza, 1994)
- “Un proceso de sustentabilidad es el que se puede mantener indefinidamente sin las disminuciones progresivas de las cualidades del valor dentro o fuera del sistema donde opera el proceso o prevalecen las condiciones” (Holdren, 1992).
- “El concepto de sustentabilidad implica que aunque el concepto de crecimiento ignore los efectos directos que tiene el medio ambiente sobre el bienestar social, el concepto de desarrollo los involucra, el uso sustentable de los recursos subraya el mantenimiento de un stock de recursos renovables, observando que objetivamente puede ser importante la base de los recursos que las nociones de bienestar intergeneracional sobre todo cuando se estudian las economías pobres” (Pezzey, 1992).
- La explotación de los recursos naturales a una tasa que maximice un rendimiento sustentable es una aplicación del concepto hicksiano del ingreso al manejo y gestión de los recursos (Ramos y Cuervo, 1999).

Con el análisis de esas definiciones podemos decir que el concepto de sustentabilidad en el ámbito ambiental y económico tiene el mismo sentido, y significa que el uso del capital natural debe realizarse sólo hasta el punto en el que este puede regenerarse así mismo, garantizando la conservación del stock de capital natural.

En la economía no se puede hacer uso de recursos más allá del ingreso pues de otra manera se estaría en un déficit, de ahí la importancia del análisis económico del ahorro y el ingreso, transpuesto en la economía ambiental a la utilización de los recursos naturales; así como se dice que el ingreso se puede consumir o ahorrar y que el ingreso es único a lo largo de la vida, entonces los recursos naturales se pueden consumir en el presente o en el futuro y en el caso de los recursos no renovables estos también están dados y son únicos.

1.2. LAS EXTERNALIDADES Y LA DIFERENCIA ENTRE COSTOS SOCIALES Y PRIVADOS

En este estudio se decidió recurrir al andamiaje teórico de la economía ambiental al considerar que si bien la economía ecológica ofrece elementos importantes para la comprensión del problema ambiental y el crecimiento económico, es la economía ambiental la que proporciona mayores elementos para la comprobación de las hipótesis y objetivos de esta investigación la cual versa sobre la conveniencia de la utilización de combustibles alternativos a los de origen fósil principalmente biocombustibles e hidrógeno, destacando que dichos combustibles sólo pueden competir con los hidrocarburos si son cuantificadas las externalidades que estos últimos generan y se suman a su costo privado. Por otra parte, los modelos de crecimiento aplicados al medio ambiente incluyen el avance tecnológico, el cual es un factor determinante en esta investigación.

Para comenzar con este apartado, decimos que la economía ambiental no es la aplicación de las ciencias económicas en general a la problemática ambiental. Se llama así a la interpretación de la escuela del pensamiento económico neoclásico que incorporara el medio ambiente como objeto de estudio y de manera particular a la contaminación. “La economía ambiental se basa, en los mismos conceptos y supuestos básicos de la teoría neoclásica, que concentra el análisis sobre la escasez y donde los bienes son valorados según su abundancia, de tal manera que cuando se trata de bienes escasos éstos son considerados bienes económicos, mientras que cuando son bienes abundantes no son económicos” (Chang, 2005).

Según los planteamientos de la economía ambiental, el agotamiento y deterioro de los recursos naturales radica en que al ser los recursos naturales bienes públicos y no existir derechos de propiedad individual sobre ellos, no se les puede asignar un precio y comercializar, lo que hace que los bienes y servicios ambientales se traten como gratuitos generando que no se les valore adecuadamente. Por ello, los costos ambientales deben ser incorporados como costos del proceso productivo (Rappo y Vazquez, 2006)

Dentro de la economía, el medio ambiente adquiere un estatus de bien económico porque recursos naturales como el agua y algunas fuentes de energía no renovables, comienzan a escasear y

presentan horizontes de agotamiento previsible, al mismo tiempo la degradación y agotamiento de estos recursos generan externalidades ^{2/} (costos) que se deben minimizar.

Sin embargo, estos bienes naturales, aún cuando sean insumos indispensables del proceso productivo, presentan características de bienes no económicos, por no poseer precio, ni dueño, por tanto, el medio ambiente se encuentra externo al mercado ^{3/}. La incorporación del medio ambiente al mercado se da mediante el procedimiento de internalización de *externalidades*, adjudicándoles un precio. Por lo anterior, la economía ambiental se ocupa principalmente de la valoración monetaria del medio ambiente, una vez internalizado, el medio ambiente adquiere las características de un bien económico, es decir, obtiene un precio y/o derecho de propiedad.

El mercado, si bien, es imperfecto, promueve la eficiencia y la creatividad en el uso de recursos, y favorece capacidades de adaptación e innovación tecnológica, de esta manera la internalización de las externalidades pasa forzosamente por incluirlas en el mercado.

Al respecto los efectos de las externalidades de los procesos económicos y las diferencias entre los beneficios sociales y privados fueron abordados por Arthur C. Pigou, en su obra "*Economics of Welfare*" (1920), al referirse a "la diferencia entre los productos netos privado y social, que surgen debido a que una persona (A), al prestar algún servicio, por el que se realiza un pago a una segunda persona (B), incidentalmente también presta servicios a otras personas (C) no productoras de servicios semejantes, de tal manera que no se puede solicitar pago a las partes beneficiadas o compensación para las partes perjudicadas" (Pigou, 1920).

Por lo anterior, efectos positivos o negativos derivados de un proceso, en el que se proveen beneficios indirectos a otros sin obtener beneficio alguno y de la misma manera cuando alguien se ve afectado por estos procesos, no es compensado por el daño infringido, sugiriendo además que "las formas más conocidas para impulsar o restringir las inversiones (en una actividad) pueden revestir el carácter de primas o impuestos" (Pigou, 1920), dejando de manifiesto por primera vez, que las externalidades debían tener un costo para el que las genera.

^{2/} Las externalidades representan costos y beneficios no incorporados a los precios de mercado que distorsionan las decisiones económicas y las asignaciones óptimas.

^{3/} Al no existir propietarios ni precios los costos se socializan dado que todos tenemos que absorber el costo que generan las externalidades, por ejemplo los costos en salud derivados de la contaminación ambiental, sin embargo, las ganancias obtenidas por los procesos que generan externalidades siguen siendo privadas.

En este aspecto Pigou, incorpora el concepto de internalización de las externalidades, en el sentido de internalizar estos costos individuales que quedaron fuera del mercado. La tradición pigouviana señala la intervención del Estado, en forma de un impuesto que corresponda con el valor del costo social infringido a la colectividad, este procedimiento se efectúa, en materia ambiental, según el principio de él que contamina-paga.

Esta idea fue retomada en 1972 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), al formular una guía internacional de aspectos económicos de política ambiental (Pearson, 1995). La OCDE consideró que el aprovechamiento de los recursos naturales, al no tener un costo por su utilización o explotación, había conducido a un creciente deterioro de la calidad del medio ambiente, es decir, existía un deterioro ambiental que permanecía ajeno al costo interno de las actividades productivas, por lo que era necesario incorporar estas externalidades.

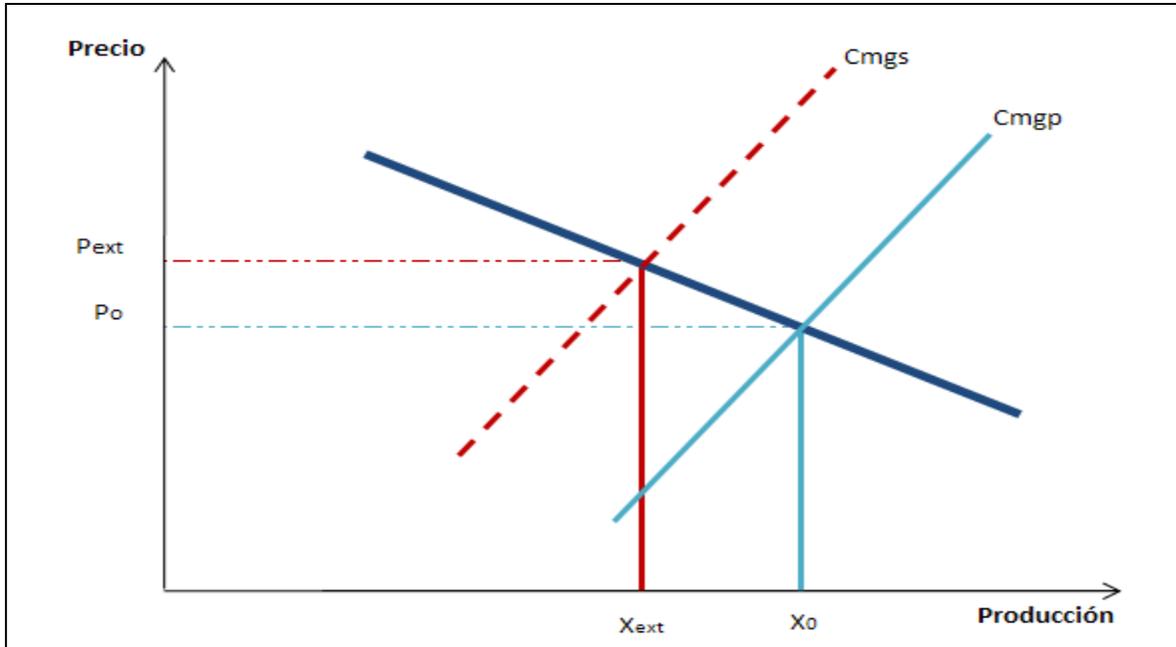
La OCDE estableció un principio que debería de ser un objetivo de los países miembros de la organización para asignar costos de prevención de contaminación y medidas para el uso racional de los recursos medioambientales escasos, conocido desde entonces como principio del que contamina paga o PPP por sus siglas en inglés (*Polluter Pays Principle*) (Meixuero, 2007).

Sin embargo desde 1960 Ronald H. Coase, con la publicación de su trabajo, "*The Problem of Social Cost*", señala que "El problema que afrontamos al tratar sobre acciones con efectos perjudiciales (sobre terceros) no es simplemente delimitar los responsables de los mismos. Debe decidirse si la ganancia para evitar el daño es mayor que la pérdida que se ocasiona en otra parte como resultado de impedir la acción que produce el daño." Coase (1960), indica además que aún en presencia de costos de transacción la intervención del Estado mediante impuesto no es necesariamente la manera más eficiente, argumenta que los agentes económicos pueden llegar a acuerdos que satisfagan a las partes independientemente de la intervención del Estado.

A modo de ilustración, Coase argumentó que el nivel de contaminación en una zona determinada será el mismo, independientemente de que la ley establezca que el contaminador es responsable o no de los daños que ésta provoca, si existe la posibilidad de que las partes puedan negociar esta situación a costos bajos. Lo que no podemos determinar es el nivel de contaminación que finalmente se alcanzará, porque ello dependerá de cómo valoren las partes los derechos establecidos por los fallos judiciales, pero sí podemos afirmar que este nivel lo definirán las partes y no las Cortes Judiciales (Ramos y Cuervo, 1999).

Las externalidades se dan cuando las actividades de un agente económico productor o consumidor afectan las posibilidades de actividad de otro agente económico, y quien provoca esto no paga por ello. La gráfica 1, muestra el efecto de las externalidades en los costos sociales, debido a que la mayoría de las veces estas no tienen costo privado.

GRÁFICA 1. COSTO SOCIAL MARGINAL Y PRECIO DE EXTERNALIDADES



FUENTE: (Sánchez y Ledesma, 2003) Acercamiento a la medición de externalidades.

Cmgs: Costo marginal social.

CmGP: Costo marginal privado.

Xext: Producción con externalidades.

Xo: Producción sin externalidades.

Pext: Precio con externalidad.

Po: Precio sin externalidades.

Como se puede observar en la gráfica 1, las externalidades generan ineficiencias, la causa se halla en que el equilibrio del mercado sólo refleja los costos privados de producción. Entonces el punto de equilibrio del mercado (óptimo privado) entre la oferta privada (costo privado) y demanda privada determina un precio de la energía inferior al que tendría si se considera la externalidad negativa de producir y utilizar la energía; la cantidad de equilibrio sería mayor que la que se produciría de considerarse las externalidades (Pampillon, 2007).

Cabe destacar que el objeto de este estudio, por tanto, la elección del enfoque de la economía ambiental es salvar esa disyuntiva entre contraer la producción para lograr internalizar las externalidad mediante la innovación tecnológica, de ahí la apuesta por los combustibles alternativos.

Como ejemplo de externalidades negativas encontramos el caso de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el costo que tiene para la sociedad la producción y utilización de energía de origen fósiles es mayor que el costo que tiene para sus productores y usuarios. El costo social comprende tanto los costos privados de los productores de energía como los costos del calentamiento global, problemas asociados a la salud, y afectaciones ambientales en los distintos procesos de la producción (externalidades). Por lo que se puede asumir que el costo social de los combustibles fósiles (CSF) es igual al precio de mercado de los combustibles fósiles (PCF) más el precio de las externalidades derivadas de la utilización de los combustibles fósiles (CEF).

En capítulos posteriores se abordará la problemática de la contaminación ambiental en la ZMVM, objeto de este estudio, con el fin de demostrar que la utilización de combustibles de origen fósil representa la opción óptima desde el punto de vista económico, si se contempla únicamente su precio de mercado, sin embargo, la situación cambia al incluir las externalidades que implican su utilización, como se muestra en la siguiente expresión.

$$CSF = PCF + CEF \dots\dots\dots(1)$$

El concepto de costo social se utilizará en el capítulo IV de este trabajo, al realizar una evaluación en la que se comparan los costos sociales de los combustibles de origen fósil y los combustibles alternativos hidrógeno y biocombustibles.

1.3. LA CONTAMINACIÓN, EL MEDIO AMBIENTE Y STOCK DE RECURSOS NATURALES EN LA TEORÍA ECONÓMICA

Existen diversas acepciones de la relación medio ambiente y economía, en todas ellas se manifiesta cierto grado de consenso sobre una preocupación de transferencia intergeneracional de riqueza más que de recursos naturales, pese a que existen diferentes puntos de vista de lo que esto implica, las definiciones tienen por lo menos algunos de los siguientes elementos en común: preocupación por la disponibilidad en el largo plazo del stock de capital natural; atención sobre el bienestar de las futuras generaciones; inconformidad por la rápida tasa de crecimiento de la población, y la preocupación

sobre si es posible mantener el crecimiento económico enfrentando escasez de recursos (Arias, 2006).

Al respecto, la equidad intergeneracional destaca como elemento fundamental en el análisis económico y de la transferencia de stock de capital entre generaciones, la cual fue abordada por Paul Samuelson en 1958, con la publicación de su trabajo *“An Exact Consumption-Loan Model of Interest with or without the Social Contrivance of Money”* éste es un modelo económico dinámico con muchas características interesantes, reconoce que la gente nace en tiempos diferentes y tiene cursos de la vida distintos, aunque relacionados con una economía intertemporal, lo cual tiene efectos sobre factores como seguridad social, educación, deuda pública y recursos naturales.

Las características del modelo pueden también generar diferentes escenarios donde hay un sistema de (n) períodos y agentes, donde los agentes económicos viven por siempre no así los individuos. Este modelo originalmente planteado para analizar los efectos del ahorro intertemporal y cómo una generación hereda a la siguiente un cierto stock de capital, el cual le sirve a la generación joven para trabajar, pero también para mantener a la generación vieja en sus años no productivos, se utiliza para analizar a la economía y el medio ambiente, al sustituir el stock de capital por un stock de capital natural.

La importancia del modelo está en la valoración de las decisiones que se toman hoy con respecto al consumo y conservación del medio ambiente para las futuras generaciones y para nosotros mismos cuando estemos en una categoría no productiva. Se demuestra que si no se hereda cierto stock de capital natural a las siguientes generaciones será difícil esperar que puedan mantener una senda de crecimiento sostenible y que puedan absorber los costos que nuestra generación les ocasione.

El modelo de generaciones traslapadas es especialmente adecuado para tratar la sustentabilidad en sus tres dimensiones: económica, social y ambiental. Permite tomar en cuenta las externalidades ambientales en un entorno dinámico. Además la estructura básica con dos tipos de agentes que conviven en el mismo tiempo - jóvenes y viejos-, permite un análisis de equidad intergeneracional. A continuación se describe el modelo de generaciones traslapadas:

- Los nuevos individuos están naciendo, los viejos individuos están muriendo continuamente.
- Los individuos viven por dos períodos. Por lo tanto, en cualquier punto en el tiempo, hay dos generaciones que coexisten juntos: jóvenes y viejos.

- Los individuos nacidos en el tiempo t consumen C_{1t} en el tiempo t (cuando jóvenes) y C_{2t+1} en el periodo $t + 1$ (cuando viejos), como muestra la siguiente función:

$$U(c_{1t}) + \frac{1}{1+p} U(c_{2t+1}) \quad U' > 0, U'' < 0$$

- En donde (U) es igual a la utilidad y (p) precio.
- Los individuos trabajan solamente cuando son jóvenes, consiguiendo un ingreso igual a w_t bajo la forma de salario.
- Los individuos consumen parte de su ingreso en el período C_{1t} y ahorran el resto para financiar el periodo C_{2t+1} cuando son viejos (ciclo vital del ahorro).
- El problema de la maximización de la utilidad del ingreso de un individuo llevado en el tiempo t es:

$$\max_{C_{1t}, C_{2t+1}} U(c_{1t}) + \frac{1}{1+p} U(c_{2t+1})$$

Sujeto a:

$$C_{1t} + S_t = W_t$$

$$C_{2t+1} = 1 + r_{t+1} S_t$$

Dónde:

S_t : Es la parte del salario o ingreso que no se consume en el período t al período $t + 1$ (Ahorro).

r_{t+1} : Es el tipo de interés pagado en el ahorro llevado a cabo a partir del período t al período $t + 1$.

La restricción descrita expresa el ingreso en el tiempo t cuando joven y la segunda restricción el ingreso en el tiempo t_{+1} cuando viejos, es visible que la segunda ecuación depende completamente del ahorro, si para motivos de éste análisis se sustituye el capital monetario o físico por capital ambiental, observamos la importancia para la generación presente de hacer un uso de los recursos naturales que no permita su agotamiento y que se preocupe de dejar un stock de capital natural suficiente para trabajar a la siguiente generación. De ésta manera se incluye el concepto de equidad intergeneracional no desde un punto de vista altruista, todo lo contrario, éste es un enfoque

utilitarista pues con él se asegura la utilidad de la generación vieja en sus años no productivos y la oportunidad de desarrollo a la siguiente generación.

La condición de primer orden del problema del consumidor es:

$$U'(C_{1t}) - \frac{1+r_{t+1}}{1+p} U'(C_{2t+1}) = 0$$

La ecuación anterior muestra como la utilidad en el tiempo t , menos la utilidad en $t + 1$, multiplicada por los intereses generados por el ahorro desde el tiempo t hasta $t + 1$, es igual a cero lo que implica que la utilidad total derivada del ingreso es única a lo largo de la vida y entonces se debe dosificar para poder seguir disfrutando de ella a lo largo de la vida y no sólo en el periodo productivo, desde el punto de vista ambiental los bienes y servicios que recibimos del ambiente son necesarios a lo largo de toda nuestra vida, ya sea por su importancia económica o por los servicios ambientales que nos prestan, pero asegurar su disfrute a lo largo de toda nuestra existencia implica que cuando se está en el periodo productivo se debe preservar para que sirvan de sostén a la siguiente generación y a nosotros mismo en el futuro.

Por otra, parte la expresión $C_{2t+1} = \frac{1+r_{t+1}}{1+p} S_t$, equivale al valor presente neto herramienta fundamental en el análisis de evaluación de proyectos el cual será abordado en capítulos posteriores al realizar el análisis de los combustibles alternativos.

Substituyendo para C_{1t} y el C_{2t+1} en términos de w_t, s_t y r_{t+1} implica una función del ahorro:

$$S_t = S(W_t, r_{t+1})$$

Dónde:

$$\frac{\partial S_t}{\partial W_t} = \frac{U''(C_{1t})}{\frac{(1+r_{t+1})^2}{1+p} U''(C_{2t+1}) + U''(C_{1t})} \in (0,1)$$

$$\frac{\partial S_t}{\partial r_{t+1}} = \frac{1 - \frac{1}{\sigma(\sigma_{2t+1})} U''(C_{2t+1})}{(1+r_{t+1})^2 U''(C_{2t+1}) + 1+p U''(C_{1t})} >, < 0$$

Dependiendo de $\sigma C_2 <, > 1$

Donde $\frac{1}{\sigma(c)} = -\frac{c U''(c)}{U'(c)}$ es el coeficiente de aversión al riesgo relativa o inversa de la elasticidad de la sustitución intertemporal.

Si bien es cierto que el consumo presente siempre será preferible al futuro, este modelo muestra las distintas implicaciones que puede tener el uso de los recursos naturales hasta su agotamiento. Sin embargo, la incorporación del avance tecnológico ofrece soluciones a este problema.

Por su parte Robert Solow en 1974 en su trabajo *“The Economics of Resource for the Resources of Economics”* destaca que la distribución de la renta o del bienestar entre generaciones depende de la disposición de recursos que cada generación prevé para sus sucesores, también argumenta que la forma en la que el agotamiento de los recursos naturales no se convertirá en una limitante del desarrollo es debido a la probabilidad de progreso tecnológico y con esto la eficientización de los procesos que permitan el ahorro de los recursos naturales y, en segundo lugar, la facilidad con la cual otros factores de la producción, pueden substituir los recursos agotables (Solow, 1974).

Lo anterior implica la idea de mantener un nivel de bienestar intergeneracional sí se puede eficientar los procesos con el avance tecnológico y de ésta manera sustituir los recursos naturales agotables como factores de la producción. Ésta idea nos dice para el caso de los combustibles de origen fósil con horizontes de agotamiento previsibles que el nivel de consumo energético (CE), dependerá de su precio (PE), del nivel de oferta y del stock del recurso, (SR), y del nivel de avance tecnológico en los combustibles fósiles (AT), como se muestra en la siguiente ecuación en la que los valores positivos o negativos del nivel de stock del recurso, pueden ser revertidos por los avances tecnológicos en los combustibles fósiles, o innovaciones que permitan la utilización de combustibles alternativos, permitiendo un acercamiento a la sustentabilidad:

$$CE = PE + SR + AT \dots\dots\dots(2)$$

En 1977 John Hartwick, publicó su trabajo *“Intergenerational Equity and the Investment of Rents from Exhaustible Resources in a Two Sector Model”*, conocido como “Regla de Hartwick”, en el que se indica que la sustentabilidad se garantiza si la renta derivada de la disminución o agotamiento de recursos (R), coincide con el nivel de inversión necesario para alcanzar un consumo constante en el tiempo (Hartwick, 1977).

En donde con un nivel unitario (RF), se trata de cumplir:

$$K' = RF R - RF G S - \varepsilon R$$

El crecimiento neto de capital K' , tiene que igualar las rentas de capital natural destruido o agotado ($RF R$), eliminados el valor de crecimiento de los recursos naturales renovables ($RF GS$) y los

costos de extracción (εR), la sustituibilidad entre K y R se conoce como Regla de Sustentabilidad débil de Hartwick, que puede resumirse en que: inversiones netas nulas permanentes (considerando capital producido y capital natural) conducen a un consumo constante permanente (Gonzales, 2005).

La sustentabilidad débil considera la sustitución de capital natural por capital físico (bienes de capital) y/o capital humano, dado que estas tres categorías de capital contribuyen al bienestar general de un modo equivalente, de ello se deduce que lo que debe conservarse no es el valor de un bien determinado, sino un agregado de riqueza, al poderse sustituir completamente las distintas categorías de capital entre sí. (Paniagua y Moyano, 2009)

Posteriormente Pearce y Atkinson en 1993 publicaron su trabajo *Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability*, en donde desarrollan el concepto de ahorro genuino, como un indicador de sustentabilidad que mide la tasa real de ahorro de una economía teniendo en cuenta el agotamiento de los recursos naturales y el daño causado por la contaminación.

El ahorro genuino es considerado un indicador de sustentabilidad débil, parte de la idea de que para conseguir el desarrollo sostenible hay que garantizar el mantenimiento del stock total de capital, que incluye no sólo capital natural sino también el capital físico (Pearce, Atkinson, 1993). De acuerdo con lo anterior si un país no ahorra lo suficiente como para compensar la depreciación del capital natural no estará siguiendo una senda de sustentabilidad o no generará bienestar en el futuro.

Para que la capacidad productiva total de un sistema económico no disminuya o crezca, (que al menos se mantenga constante), el nivel de ahorro debe ser igual o mayor al valor agregado de la depreciación total del capital físico y al agotamiento y degradación del capital natural, por lo que tasas positivas de ahorro son una condición mínima de sustentabilidad, si el ahorro es negativo se genera una condición de no sustentabilidad y de disminución del bienestar de la sociedad.

En el caso de una transición energética basada en combustibles alternativos ésta debiera ser en parte asegurada por el ahorro social (privado y público) derivado del agotamiento de los recursos fósiles, asegurando de ésta manera la continuidad del sistema y del bienestar social.

Por otra parte derivado de los trabajos Frank Ramsey (1927) desarrollado posteriormente por David Cass (1965) y Tjalling Koopmans (1965) y el trabajo de David Gale (1967), se realizan adaptaciones al modelo *Cake-Eating*, basado en la teoría del control óptimo, analizando la transformación de un único recurso no renovable en un bien de consumo en el que el sendero óptimo muestra un

crecimiento de consumo del recurso, así que la sustentabilidad, sólo existirá si la tasa de progreso técnico excede la tasa a la cual es descontada la utilidad futura (Silva, 1997).

En éste modelo la utilidad individual depende no sólo de la tasa a la cual el individuo agota su propio stock de recursos, sino también del stock total de recursos de la sociedad, éste efecto de recursos totales es directo (ambiental - utilidad) o indirecto (productividad ambiental - función de producción). En ambos casos el agotamiento no cooperativo de recursos (óptimo privado) conduce a la tragedia de los comunes o tragedia de la propiedad común. La tragedia de los comunes implica que la explotación de los recursos a tasas que exceden su capacidad de carga o de regeneración natural conduce a la degradación del recurso causando daños irreversibles a la sociedad en su conjunto por la ambición individual de la utilización de dichos recursos (Hardin, 1968).

Como ejemplo de lo anterior tenemos la aspiración legítima de poseer un automóvil y las necesidades genuinas de transporte conducen a un uso creciente de combustibles y un incremento de las externalidades generadas por esto, lo cual genera una tragedia de los comunes en la que las deseconomías de escala producto de la aglomeración disminuyen el nivel de bienestar social.

El análisis económico de la sustentabilidad nos lleva a plantearnos la relación entre la utilidad futura y presente del consumo de los recursos naturales, la tasa a la que es conveniente explotar los recursos naturales y la equidad intergeneracional del uso de los mismos.

La equidad intergeneracional y la sustentabilidad o sostenibilidad económica y ambiental, implica el uso adecuado de los recursos o el avance tecnológico que permita sustituir estos por otros, con igual nivel de beneficio, la mayoría de modelos actuales continúan la línea de trabajo del enfoque neoclásico de los setenta sobre la teoría del capital natural o teoría del crecimiento con capital natural.

Al agotarse determinado recurso por ejemplo el petróleo, sería posible sustituirlo por otro combustible alternativo o, gracias a las mejoras tecnológicas o los cambios en el proceso productivo y en la demanda, superar su escasez, ésta propiedad de sustitución es una condición clave mediante la cual un nivel positivo de producción/consumo creciente puede ser sostenido indefinidamente a pesar de la dependencia de capital natural no renovable y su previsible agotamiento en el mediano y largo plazo. Por tanto, la sustentabilidad de los combustibles fósiles por energías alternativas permite un tipo de sustentabilidad débil que asegura la conservación del nivel de bienestar social presente y la posibilidad de desarrollo futuro.

En este sentido en el documento *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* publicado en 2011, señala que “históricamente, el desarrollo económico ha estado fuertemente correlacionado con el uso creciente de energía y el crecimiento de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que indica que las energías renovables (ER) pueden ayudar a desacoplar esa correlación, lo que contribuye para el desarrollo sustentable (DS).” (IPCC, 2011).

1.4. EL PAPEL DEL AVANCE TECNOLÓGICO Y SUS IMPLICACIONES EN LA UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Los modelos de crecimiento económico de la década de los 70 asumen el cambio tecnológico y el crecimiento poblacional como variables exógenas que inciden sobre la tasa de crecimiento, posteriormente se desarrollan modelos de crecimiento endógeno centrados en la consideración del cambio tecnológico (y por tanto, de la tasa de crecimiento) como variable endógena (CEFP, 2010).

En estos modelos el avance tecnológico es resultado de las decisiones de maximización de las empresas y los individuos, recogiendo además el efecto indirecto y sinérgico derivado de la acumulación de capital humano o de las inversiones en infraestructura. La problemática ambiental parte aquí del apoyo que brinda el avance tecnológico para la mejora de la eficiencia técnica y la reducción de la contaminación, junto a la capacidad de autoregeneración del medio natural, hechos que compensan el uso de los recursos naturales.

Al respecto Kuznets en su trabajo *“Economic Growth and Income Inequality”* se basó en la relación equidad/ingreso planteándola en forma de “U” invertida, según la cual midió conforme el progreso de un país se acelera (por el incremento del ingreso per cápita) se deteriora el nivel de equidad (aumenta la inequidad en la distribución del ingreso) hasta un punto límite para luego mejorar el nivel de equidad conforme aumenta el ingreso (Kuznets, 1995).

De acuerdo con lo anterior en materia ambiental no habrá conflicto de intereses entre generaciones, ya que la búsqueda de un crecimiento económico en el presente no conllevaría el deterioro del medio ambiente en el futuro sino al contrario.

El tema de la curva ambiental de Kuznets fue popularizado por el Banco Mundial en su *“World Development Report 1992”* en el que se señala que “la idea de que una mayor actividad económica

afecta inevitable al medio ambiente, se basa en supuestos estáticos sobre el avance tecnológico (en ausencia de cambios en la estructura tecnológica de la economía, el crecimiento daría lugar a un crecimiento proporcional en la contaminación y otras consecuencias para el medio ambiente), gastos e inversiones ambientales, además, conforme se incrementa el ingreso, la demanda de mejoras en la calidad ambiental aumenta, así como los recursos disponibles para la inversión en la materia” (Stern, 2007).

La hipótesis de la curva ambiental de Kuznets propone la existencia de una relación en forma de U invertida entre varios indicadores de degradación ambiental (contaminación o agotamiento de recursos) y el ingreso per cápita. Entre las explicaciones propuestas para esta hipótesis, se señala que el crecimiento económico da lugar a cambios en la estructura económica y en la tecnología, al igual que a mejoras en la regulación y a una mayor conciencia ambiental que contrarrestan las consecuencias del crecimiento sobre el medio ambiente (Alviar y Granada, 2006).

Los trabajos de Grossman y Krueger (1991), Shafrik (1992) y el Banco Mundial (1992), encontraron que algunas emisiones de contaminantes (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas suspendidas y plomo) presentaban un comportamiento para diferentes niveles de ingreso similar al de una U invertida.

La llamada forma de U, supone que en un primer momento, el crecimiento económico tiene efectos ambientales negativos pero, a partir de un nivel crítico de renta per cápita, la situación ambiental mejora a medida que se dan posteriores aumentos de la renta per cápita, por tanto de acuerdo con este modelo, si bien en las primeras fases del desarrollo económico la degradación ambiental es una consecuencia inevitable del crecimiento, una vez superado determinado nivel de renta per cápita, el crecimiento económico deja de ser la causa y pasa a ser la solución a la degradación ambiental.

Se debe reconocer que si bien un crecimiento en el ingreso per cápita aumenta la capacidad y probablemente la disponibilidad a pagar más por un medio ambiente adecuado, también genera un incremento en el consumo, el cual tiene generalmente efecto adversos sobre el medio ambiente, ejemplo de lo anterior es que si todos los países alcanzaran el nivel de ingreso per cápita de Estados Unidos no habría recursos suficientes en el planeta para abastecer la demanda de todos los habitantes.

Los trabajos realizados en relación a la curva ambiental de Kuznets parecen indicar que desde un enfoque teórico como desde otras aproximaciones empíricas, la elasticidad-renta de la demanda

ambiental es el argumento clave para justificar la curva ambiental de Kuznets (CAK). Así, al alcanzarse un nivel de renta límite, se produciría un cambio en las preferencias de los consumidores de forma que, al aumentar la renta, los individuos estarían dispuestos a gastar una mayor proporción de recursos en calidad ambiental, como si se tratase de un bien de lujo (Baldwin, 1995).

Este comportamiento se reflejaría, por una parte, en una creciente preferencia por patrones de consumo más sostenibles o verdes, y por otra, en el apoyo a posiciones políticas y sociales más proclives a dedicar más presupuesto a limpiar el medioambiente y a adoptar regulaciones más severas. Sin embargo, Flores y Carson (1995) y Kristrom y Riera (1996) señalan que la elasticidad-renta de las mejoras ambientales es en muchos países inferior a la unidad. En la misma línea, McConnell (1997) llega a la conclusión de que el supuesto de que el medioambiente es un bien de lujo no es una condición ni necesaria ni suficiente para obtener la CAK (Capó, 2008).

La hipótesis CAK se justifica en los siguientes términos: en los niveles más bajos del desarrollo, tanto la cantidad como la intensidad de la degradación se limitan al impacto de la actividad económica de subsistencia en la base de recursos y a la emisión de cantidades limitadas de residuos biodegradables. Cuando se acelera el desarrollo económico con la intensificación de la agricultura y de otras actividades extractivas y el despegue de la industrialización, las tasas de extracción de recursos empiezan a superar las tasas de regeneración de los mismos y la generación de residuos empieza a crecer tanto en cantidad como en toxicidad.

Finalmente, cuando se alcanzan altos niveles de desarrollo el cambio estructural hacia actividades intensivas en información, la mayor valoración de la calidad ambiental por parte de las personas, la puesta en práctica de la regulación ambiental, el desarrollo de nuevas tecnologías y el aumento en el gasto ambiental conducen a la estabilización y reducción de la degradación ambiental. De acuerdo con esta hipótesis, la relación entre el nivel de renta per cápita y la calidad ambiental podría representarse mediante una curva en forma de U invertida (Ansuategi y Arto, 2004).

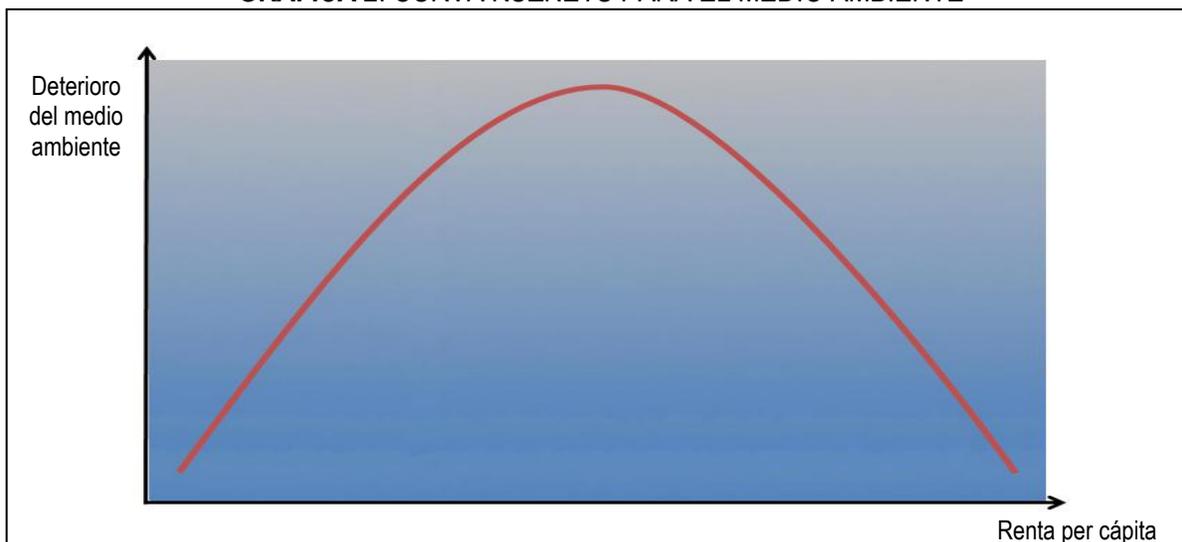
Otra explicación es que la CAK podría estar reflejando la progresión natural del desarrollo económico, desde una economía agraria limpia a una economía industrial contaminante y, finalmente, el paso a una economía de servicios que es, de nuevo, limpia (Capó, 2008).

La explicación de la forma de U invertida de la curva de Kuznets en términos teóricos sería la siguiente: en una primera etapa de desarrollo, las empresas incrementarían el tamaño de sus plantas y no contarían con tecnologías limpias, por lo que se produciría un deterioro del medio

ambiente. Por otro lado, el paso a una sociedad urbana ejercería una mayor presión sobre las condiciones medioambientales. Sin embargo, a medida que el país avanzará en su estadio de desarrollo, el sector servicios cobraría mayor relevancia y se empezarían a aplicar políticas de reducción de la contaminación, generando un efecto positivo del crecimiento sobre el medio ambiente.

Adicionalmente el empleo de tecnologías no contaminantes presenta rendimientos crecientes en términos de reducción de la polución, al existir costos fijos elevados asociados a su incorporación, lo que implicaría unas mayores posibilidades del empleo de éstas por los países desarrollados. A continuación en la gráfica 2, se ilustra lo expuesto sobre el comportamiento de la curva ambiental de Kuznets.

GRÁFICA 2. CURVA KUZNETS PARA EL MEDIO AMBIENTE



FUENTE: Elaboración propia.

Por otra parte, se considera que puede existir un mecanismo endógeno de corrección del daño ambiental, dado que el aumento en el nivel de producción lleva asociado un mayor empleo de materias primas y de recursos naturales, éstos se encarecerán, y a niveles elevados de desarrollo, se esperaría una reducción en la cantidad demandada de materias primas y recursos naturales.

No obstante, si la reducción de la contaminación de acuerdo con la curva ambiental de Kuznets pasa forzosamente por un nivel crítico de renta per cápita y esto es observable únicamente en países desarrollados, resulta alarmante dado que países emergente como China, India, Brasil, México entre otros, alcancen un nivel de ingreso per cápita semejante al de países desarrollados se vislumbra

como una empresa extremadamente complicada tomando en cuenta el tamaño de la poblaciones de estos países, además de los pronósticos que indican que una parte muy importante de la demanda de energéticos provendrá de estos países en los cuales el ingreso per cápita aún no permite la reducción de contaminación que prevé teóricamente la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets.

CONCLUSIÓN

El trabajo realizado en el presente capítulo, muestra que el análisis económico del medio ambiente implica reconocer que las actividades económicas son capaces de generar efectos no cuantificados en los precios que se pagan por los bienes y servicios (precio privado), además de demostrar que el costo de éstos efectos dentro de la teoría económica es denominado (externalidades), señalando que la suma del precio o costo privado más el costo de las externalidades es definido como el monto total del costo social.

De lo anterior se plantea que la reducción de la contaminación bajo su forma de externalidad tiene que pasar por el mercado y, si bien existe la limitante de la falta de regulación y de derechos sobre los bienes y servicios ambientales, lo que provoca una tragedia de los comunes a nivel macro, también es cierto que el avance tecnológico se convierte en el elemento fundamental para alcanzar la disminución de la contaminación y ofrece expectativas positivas sobre la sustitución de recursos no renovables como es el caso de la energía de origen fósil.

En los siguientes capítulos, una vez expuesto nuestro marco teórico abordaremos el tema del estado actual que guarda el sector energético convencional poniendo especial énfasis en el sector transporte, y los avances tecnológicos presentes en dicho mercado tales como los biocombustibles y el hidrógeno en el ámbito internacional y nacional para conocer la potencialidad de su uso en el corto y mediano plazo a nivel masivo, y si estos son una opción para internalizar las externalidades generadas por la utilización de combustibles de origen fósil.

- CAPÍTULO II -

PERSPECTIVAS DEL SECTOR ENERGÉTICO CONVENCIONAL Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA SOCIEDAD

“La energía es un bien escaso y sus fuentes tienden a agotarse, mientras no se encuentren sistemas de producción energética renovables que se puedan utilizar a gran escala, haremos bien en intentar preservar los recursos que ahora tenemos.” (Gutiérrez, 2009).

INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se realizará una revisión del panorama de las energías de origen fósil, al tiempo que se discute sobre cuáles son los efectos que su utilización masiva tiene sobre el medio ambiente y la sociedad, poniendo especial interés en la energía destinada al sector transporte, describiendo la problemática en la materia a nivel global y nacional.

Pregunta tópico	Objetivo
¿Cuál es el panorama internacional y nacional de las energías de origen fósil?	Averiguar los factores económicos que impulsan la utilización de energías de origen fósil, así como los efectos ambientales y humanos ocasionados por estos.

2.1 PERSPECTIVAS DEL CONSUMO, OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍAS CONVENCIONALES

2.1.1 CONTEXTO INTERNACIONAL

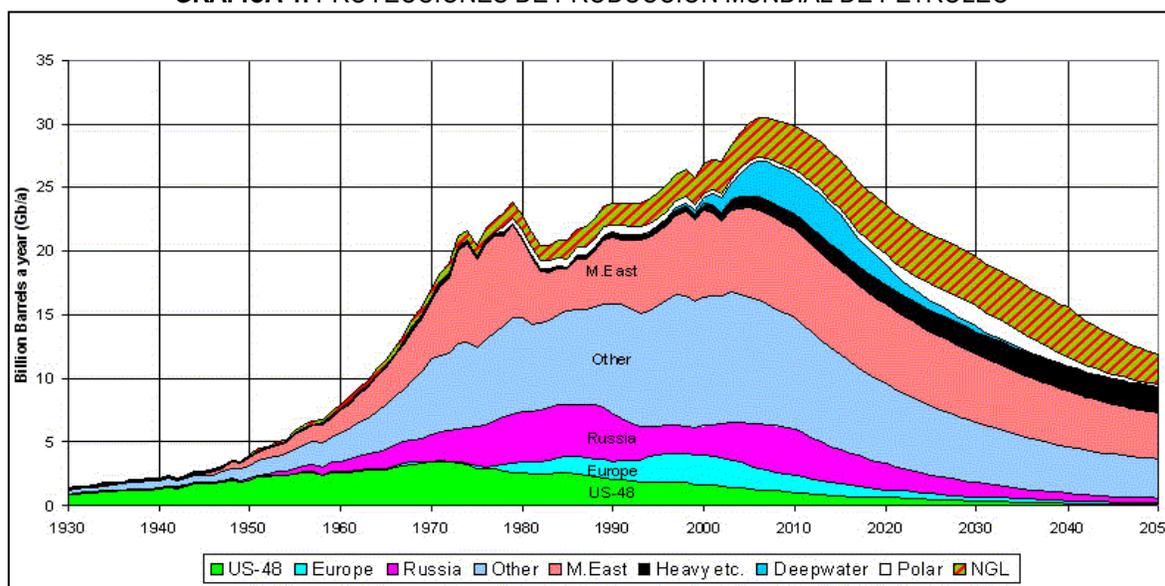
El recurso mundial de petróleo convencional acumulado durante varios cientos de millones de años de tiempo geológico, se estima será agotado apenas 200 años después de que los primeros pozos fueran perforados a mediados de siglo XIX, como indica la tesis del pico de Hubbert, creada en 1956, en la que se pretende pronosticar el momento a partir del cual no será posible suplir las reservas de crudo que se agotan con el hallazgo de otras nuevas, es decir, el momento en el que la producción de crudo comenzará a decaer. Al respecto, Rifkin (2002), señala que 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. Dicho autor señala que las proyecciones sobre la demanda global de petróleo revelan lo duro que serán los retos en la materia, la demanda diaria mundial de petróleo aumentará de 80 millones a 120 millones de barriles antes de 2020, un aumento del 50.0% en menos de 20 años” 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, aún así, existe una situación paradójica: por el alto precio del petróleo, sus resultados económicos nunca gozaron de tan buena salud” (ASPO. 2006).

La tesis del pico de Hubber (1956) ^{1/}, indica que el pico petrolero estaría situado cerca del año 2010 como se muestra en la gráfica 1.

GRÁFICA 1. PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PETRÓLEO



FUENTE: (ASPO, 2006)

^{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. 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 irremediamente, y la era del petróleo barato habría terminado.

Al respecto, el documento “Enfrentando el grave problema energético” publicado en 2007 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, indica que el mundo no se está quedando sin recursos energéticos.

Por el contrario, señala que se estaría acumulando riesgos relacionados con la expansión continua de la producción de petróleo y gas natural provenientes de fuentes convencionales de energía (de las que se ha dependido históricamente). Señala además, que para reducir estos riesgos, se requerirá la expansión de todas las fuentes de energía, incluyendo la proveniente de la biomasa y otras energías renovables y de mejoras tecnológicas en materia de energías convencionales.

En dicho estudio el Consejo del Petróleo de Estados Unidos, acepta que la demanda global total de energía crecerá entre un 50.0% y 60.0% para el año 2030, resultado del crecimiento de la población mundial y de la búsqueda de mejores estándares de vida (National Petroleum Council, 2007).

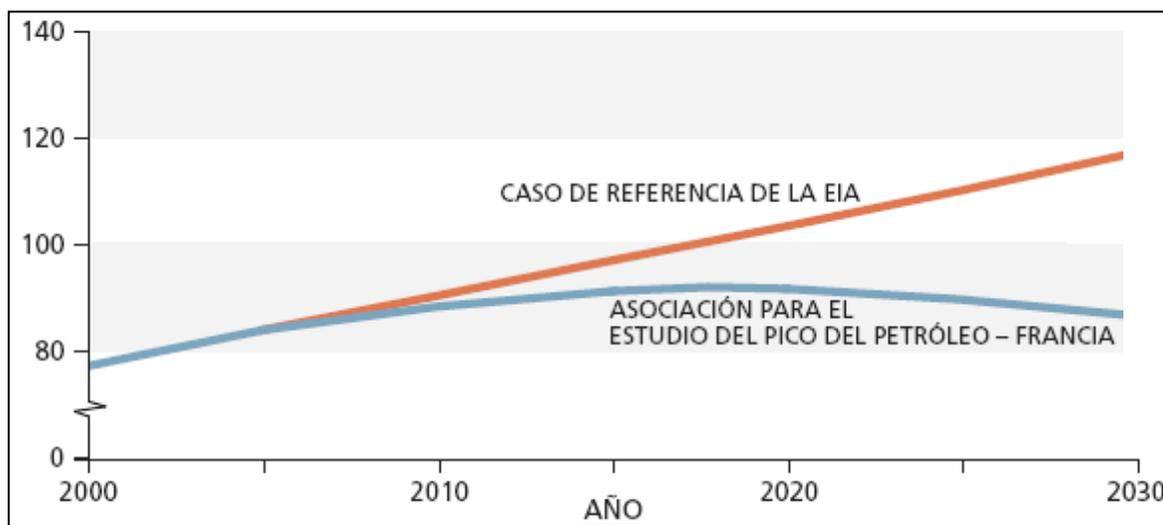
Los riesgos relacionados con la demanda y producción de petróleo se expresan claramente en los pronósticos del pico del petróleo en los que se señala; en primer lugar, la producción de petróleo no aumenta considerablemente más allá de los niveles actuales y en segundo lugar, se evidencia cada vez más una declinación inevitable de la producción de petróleo.

Las opiniones con respecto al suministro de petróleo tienden a diferir después del año 2015, y los pronósticos referidos al pico petrolero proporcionan el límite inferior. En general, estos pronósticos consideran el suministro de petróleo independientemente de la demanda y señalan una contracción de la oferta.

Estas opiniones se presentan en contraste con los pronósticos y modelos económicos que prevén que las fuerzas del mercado proporcionarán incentivos para el desarrollo de hidrocarburos globales y de otros recursos para satisfacer las necesidades energéticas por lo menos hasta el año 2030, como se muestra en la gráfica 2.

Las preocupaciones con respecto a la confiabilidad de los pronósticos de producción y las estimaciones de recursos recuperables de petróleo plantean cuestionamientos respecto al suministro y capacidad de producción de petróleo en el futuro.

GRÁFICA 2. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PETRÓLEO
(Millones de barriles diarios)



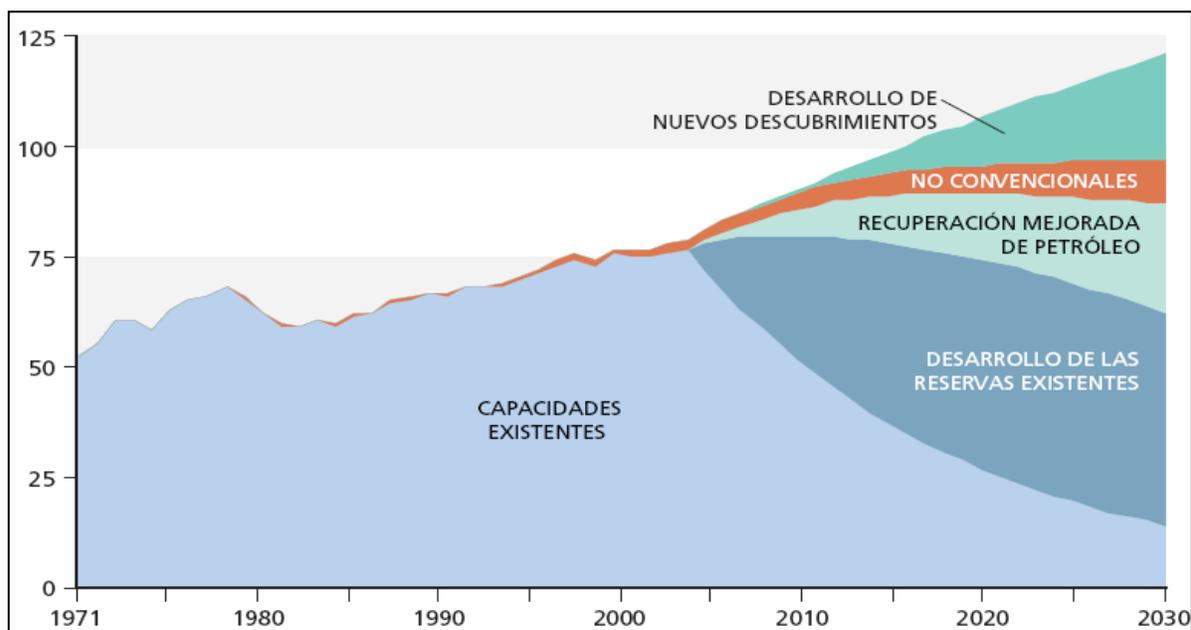
FUENTE: (National Petroleum Council, 2007)

Ahora bien, los pronósticos que prevén un pico inminente en la producción de petróleo, utilizan diversos indicadores para fundamentar su posición, incluyendo picos de producción históricos para cada país en particular; extrapolaciones del ciclo de producción desde los pozos individuales hasta los campos, cuencas y el mundo en su totalidad; y el predominio histórico de los yacimientos grandes para suministrar el petróleo a todo el mundo.

De acuerdo con el Consejo del Petróleo de Estados Unidos, estos indicadores históricos de la producción de petróleo convencional, se contradicen con las expectativas de nuevos descubrimientos, las técnicas de recuperación mejorada, la introducción de tecnología para producir petróleo a partir de fuentes no convencionales, y las reevaluaciones y revisiones de los recursos conocidos, además indica que la base de producción será afectada por el clima económico, las expectativas de los mercados y por el acceso a los recursos, situando el pico petrolero hasta el año 2030 con la información actual disponible.

Como se observa en la gráfica 2, se pronostica un incremento en la producción mundial que pospone el pico petrolero hasta después de 2030 por factores como el desarrollo de reservas existentes, la explotación de recursos no convencionales, recuperación mejorada y nuevos descubrimientos, no obstante este punto es inevitable como se ilustra en la gráfica 3. A partir de este punto, los costos del petróleo subirán por la escases relativa y los mayores costos derivados de su extracción.

GRÁFICA 3. PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PETRÓLEO POR TIPO
(Millones de barriles diarios)



FUENTE: (National Petroleum Council, 2007)

En la tabla 1, podemos observar las estimaciones de la producción a nivel mundial. La relevancia de ésta tabla radica en mostrar que el pico máximo de la producción a nivel mundial de acuerdo con Butler (2010), ya fue alcanzado, como se muestra a continuación.

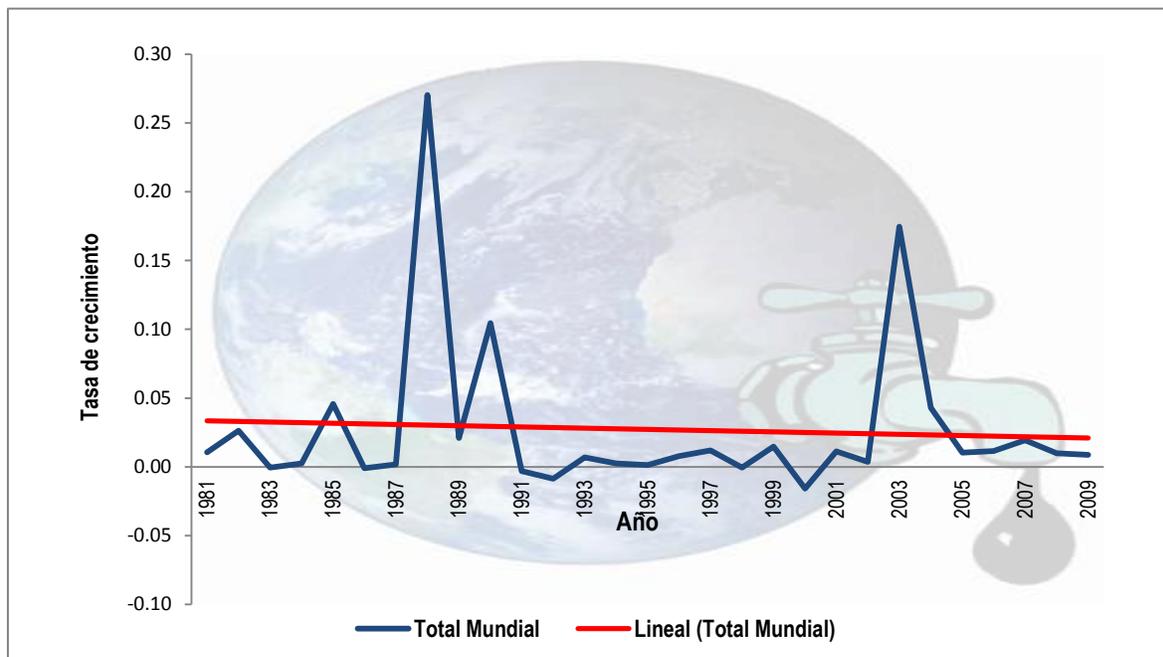
TABLA 1. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Estimación de la producción a 2010			Tasa anual – petróleo convencional					Total	Pico máximo		
Cantidad											
Petróleo Convencional			2007	2010	2015	2020	2030				
Pasado	Futuro	Total	E. U	3.7	3.1	2.4	1.8	1.0	200	1970	
Campos conocidos		Nuevos	Europa	4.3	3.5	2.5	1.7	0.9	76	2000	
1008	724	143	1875	Rusia	9.7	9.7	7.8	6.2	3.9	230	1987
Todos los líquidos			MO Golfo	19	19	20	20	17	663	2015	
1159	1291	2450	Otros	29	27	22	19	13	706	2005	
Escenario base 2007. Capacidad de producción			Mundial	66	62	55	48	36	1875	2005	
			Pesado	3.9	5	5	5	6	184	2030	
			Aguas profundas	6.7	9	9	8	4	85	2013	
Petróleo convencional. Excluye petróleo pesado, polar y aguas profundas			Polar	0.9	1	1	2	4	52	2030	
			Gas líquido	6.5	7	7	7	7	203	2035	
			Redondeo			-2	-1	-2	51		
Revisado 19/04/2009			Total	84	83	75	70	55	2450	2007	

FUENTE: (Butler, 2010).

Por otra parte en la gráfica 4, construida con información de la U.S Energy Information Administration, sobre las reservas probadas de petróleo a nivel mundial, se observa una tendencia negativa en la tasa de crecimiento de las reservas probadas, a nivel mundial pese a picos extraordinarios en los años 1988, 1990 y 2003, los cuales no revierten la tendencia negativa de dichas reservas.

**GRAFICA 4. RESERVAS PROBADAS DE HIDROCARBUROS A NIVEL MUNDIAL
(Tasas de crecimiento)**



FUENTE: (EIA, 2010).

En el ámbito internacional, la demanda de productos petrolíferos se ha incrementado particularmente en países en vías de desarrollo con altas tasas de crecimiento económico como China, la India y Brasil, conforme estas economías se industrializan y aumentan su riqueza se incrementa la demanda de transporte, lo que deriva en un aumento en el consumo de gasolinas y derivados intermedios.

En 2010, la demanda mundial de productos petrolíferos se ubicó en 85,261 mbd ^{2/}, y de acuerdo con Información de la Agencia Internacional de Energía, la combustión de energías de origen fósil fue responsable de la emisión de 41.0% del total de las emisiones de CO₂ a la atmosfera (IEA, 2010), de las cuales el sector transporte fue responsable del 23.0% de las emisiones mundiales de CO₂ asociadas a la energía, de esta manera, el sector transporte es responsable por el 56.1% de las emisiones de CO₂ producto de la combustión de origen fósil.

Desde 1980 y hasta 2010, el consumo de petrolíferos creció a una tasa promedio anual de 16.2%, sin embargo, informes del Banco Mundial (2009), y la U.S Energy Information Administration señalan que en 2009 la demanda petrolera decreció en 1.2 millones de barriles diarios, con grandes

^{2/} mbd: miles de barriles diarios

disminuciones en los países de ingreso altos y ligeras reducciones en la mayoría de las regiones en desarrollo, lo anterior debido a la crisis financiera detonada en 2008, y la pronunciada disminución en la actividad económica, no obstante para 2010, el consumo de petrolíferos registró un incremento de 1.3 millones de barriles superando ligeramente el nivel de 2008.

Por otra parte se prevé que en los próximos 25 años la demanda de petróleo se incremente rápidamente. En el sector transporte se estima que los países pertenecientes a la OCDE seguirán siendo los mayores consumidores de combustibles líquidos, con una participación en la demanda total de combustibles líquidos de 58.0% en 2004 y que alcanzará el 63.0% para 2030 (SENER, 2012).

De acuerdo con datos del Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, el sector transporte crecerá rápidamente, triplicando el número de vehículos automotores para el año 2050. Además en dicho documento se señala que a nivel global alrededor del 94.0% de los combustibles para el sector transporte provendrá de fuentes de petróleo, así mismo se indica que existe la posibilidad de una transición mediante el uso de mayores cantidades de energía renovable como combustible (IPCC, 2011).

Los países no OCDE tendrán un incremento de 42.0% a 50.0% para el año 2030; con una tasa de crecimiento de 2.9% anual en la demanda de energía para el sector transporte entre 2004-2030, hecho que se debe al incremento del transporte particular, el aumento de la urbanización y del ingreso per cápita, por lo que si al aumentar el ingreso se requiere un incremento en los bienes de consumo, a nivel global la economía parece estar lejos de comprobar la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets.

Esta creciente demanda de energía para el sector transporte induce cambios en la atmósfera, dado que la combustión energética de origen fósil propicia la emisión de contaminantes; con efectos negativos para la salud humana así como para el entorno ambiental. Diversos estudios de organismos internacionales y nacionales han demostrado esta relación (Organización Mundial de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Nacional de Ecología, Centro Mario Molina, entre otros) ^{3/}.

^{3/} Estos estudios serán abordados con mayor profundidad en capítulos siguientes, y servirán de base para la valoración económica de los combustibles alternativos versus combustibles de origen fósil.

2.1.2 CONTEXTO NACIONAL

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía (2009), el consumo nacional de energía equivale a 8,478.46 PJ ^{4/} en 2008 cifra 3.5% superior a los 8,448.8 PJ registrados en 2007, de los 8,478.56 PJ consumidos a nivel nacional en 2008 el 50.4% (4,816.5 PJ) correspondieron a combustibles de los cuales el sector transporte consumió 2,427.54 PJ, equivalente a 28.6% del consumo energético nacional, registrando un crecimiento de 12.4% respecto a los 2,397 PJ registrados en 2007 (SENER, 2009).

De acuerdo con el Programa Especial de Cambio Climático, de continuar con esta tendencia las emisiones totales del país crecerán 50.0% para 2030 y 70.0% en 2050 (SENER, 2010).

Se estima que a nivel nacional el parque vehicular del sector autotransporte crezca a una tasa de 6.3%, promedio anual, entre 2006 y 2016 (SENER, 2010), es decir, el parque vehicular pasará de 19,389 miles a 35,559 miles de autos en 2016, además informes de la Prospectiva de Petrolíferos (2007-2012) indican que el mayor aumento se dará en el parque a gasolina, con más de 15 millones de unidades; un incremento casi al doble en vehículos a diesel, mientras que el gas natural observará un incremento significativo de 25 mil unidades, en tanto, el parque de gas LP mostrará una reducción.

Si bien la demanda de combustible tenderá a un crecimiento relativamente menor que el parque vehicular: 3.8% en el caso de gasolinas y 4.0% para el diesel, las emisiones contaminantes seguirán su curso, por ejemplo, para el año 2016 con un promedio conservador se emitirá 1,0027,638 g/km de CO₂ a la atmósfera.

Además, la eficiencia energética aumentará entre 2006 y 2016 en un 28.0%, de acuerdo con información de la prospectiva de petrolíferos (2007-2012). La mayor eficiencia del parque vehicular es un proceso gradual que se da por la incorporación de nuevos vehículos con un uso generalmente más eficiente de combustibles y la salida de unidades que llegarán al final de su vida útil, elevando así la eficiencia promedio del mismo.

En este sentido, la SENER (2010) espera que el cambio de tecnología se dé por la introducción de los sistemas de inyección directa de gasolina, se entiende que este hecho obedecerá a la

^{4/} Un Joule: es la cantidad de energía que se utiliza para mover 1 kg de masa a lo largo de una distancia de 1m, aplicando una aceleración de 1m/s², un petajoule (PJ), siguiendo los factores de conversión, es equivalente a 1 Joule x 10¹⁵

disminución en la demanda. Sin embargo, debemos considerar que el sector energético, tanto por su escasez como por las emisiones de gases de efecto invernadero que genera su consumo, genera la necesidad de analizar hacia el futuro nuevas alternativas eficientes y con menores impactos ambientales.

Es importante señalar que la periodicidad de los datos presentados en este apartado referentes al contexto internacional y nacional se debe a los largos periodos de análisis y procesamiento por parte de los generadores de información.

2.1.3 CONTEXTO DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

El crecimiento poblacional de la Zona Metropolitana del Valle de México así como la falta de una planeación y ordenamiento del territorio, hacen que los tiempos de traslado y las distancias dentro de la región se incrementen. Toda vez, que esta zona metropolitana concentra el 19.0% de la población total nacional en sólo 0.25% del territorio.

Además, el parque vehicular se incrementa a tasas mayores que la población; el incremento del parque vehicular entre los años 1990-2001 se estimó en 75.0% (SMA, 2003). Éste crecimiento del parque vehicular en las ciudades es el principal factor para el incremento del consumo y demanda energética, con un impacto ambiental atmosférico que representa un reto significativo hacia el futuro de la región.

La energía destinada al consumo final de la ZMVM para el año 2006, se estimó en 545 (PJ), mientras que en 1990 el consumo fue de 443 PJ, lo que significó un aumento de 102 PJ, lo que representó 23.0% de incremento en el consumo energético entre 1990-2006 (SMA, 2006). La demanda de la ZMVM es cubierta principalmente por gasolina (43.0%).

Para el año 2008, el consumo promedio diario de los combustibles en la ZMVM, se estimó en 65.8 millones de barriles equivalentes de gasolina; alrededor 10,455 millones de litros por día. Todo ello demuestra que el sector transporte es el mayor demandante de energía y, por tanto, generador de emisiones contaminantes en la ZMVM (Comisión Ambiental Metropolitana, 2002) y (PROAIRE-2011-2020).

De lo anterior es importante destacar que si bien el incremento en el parque vehicular en el periodo 1990-2001 fue de 75.0%, el consumo de combustible registra un incremento de 23.0% en el periodo

1990-2006, esta desproporción obedece a la incorporación de mejoras tecnológicas que incrementan la eficiencia de los vehículos, pero no logran contener el crecimiento del consumo de combustible y con esto la contaminación. Según los datos más recientes en 2008 existía un total de 4.5 millones de vehículos automotores en la ZMVM (PROAIRE 2011-2020).

Es de interés mencionar que de acuerdo con la Secretaria de Medio ambiente del D. F. (2010), las fuentes móviles contribuyen principalmente con los siguientes contaminantes del aire: 84.0% de óxidos de nitrógeno (NO_x), 99.0% de monóxido de carbono (CO), y 52.0% de óxidos de azufre (SO₂) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) (SMA D.F., 2010).

En el año 2006, el sector transporte consumió 312 PJ, que representa el 57.0% de la demanda total de energía de la ZMVM; la gasolina magna (65.0%) y el diesel (22.0%) son los principales combustibles utilizados. En la tabla 2 se muestran los escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero para la ZMVM de manera total y particular para el sector transporte:

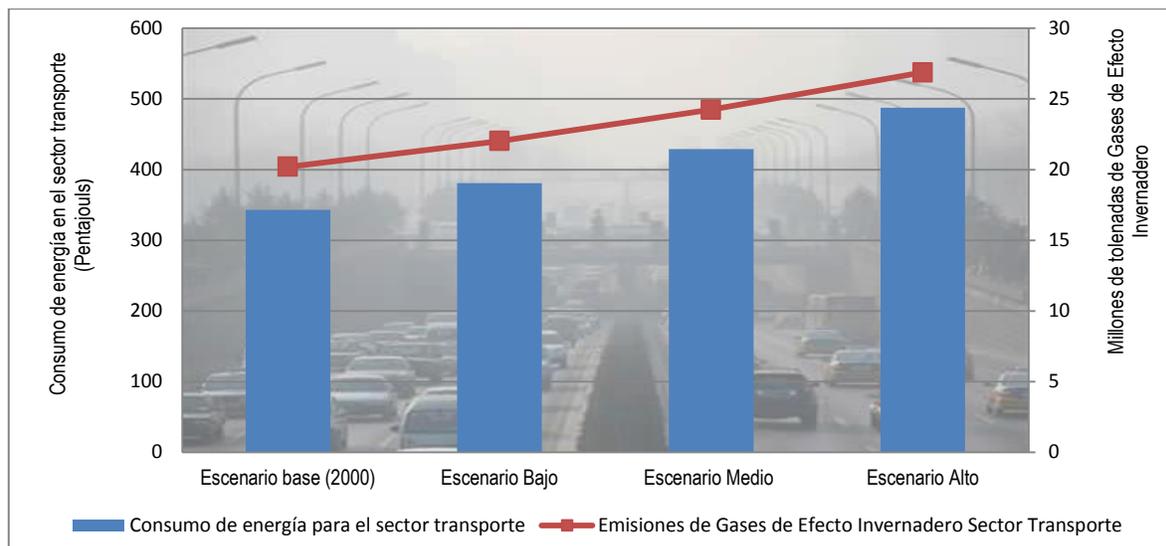
TABLA 2. ESCENARIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI EN LA ZMVM AL 2012

Variable	Escenario base (2000)	Escenario Bajo		Escenario Medio		Escenario Alto	
		Absoluto	(Porcentaje)	Absoluto	(Porcentaje)	Absoluto	(Porcentaje)
Consumo de energía total (Pentajoules)	625.7	707.0	13.0	788.4	26.0	882.2	41.0
Consumo de energía para el sector transporte (Pentajoules)	343.2	381.0	11.0	429.0	25.0	487.3	42.0
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Totales (Millones de toneladas)	51.8	59.1	14.0	66.3	28.0	72.5	40.0
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Sector Transporte (Millones de toneladas)	20.2	22.0	9.0	24.2	20.0	26.9	33.0

FUENTE: Escenarios al 2012 de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Estrategia Local de Acción Climática del D.F. (2010).

Los cambios en la tecnología de este sector, han dado como resultado que los procesos actuales de combustión interna de los vehículos tengan niveles de emisión de contaminantes más bajos a los que se tenían en los años noventa, pero la demanda energética propicia que los niveles de emisiones contaminantes sean crecientes como se muestra en la gráfica 5:

GRÁFICA 5. ESCENARIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI EN LA ZMVM AL 2012 (SECTOR TRANSPORTE)



FUENTE: Escenarios al 2012 de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Estrategia Local de Acción Climática del D.F. (2010).

De la gráfica 5 se observa que bajo ningún escenario para el año 2012, fue posible reducir las emisiones contaminantes, dadas las tendencias de consumo de combustibles de origen fósil, además resulta relevante, el hecho de que estas emisiones impacten negativamente la salud de la población, así como su entorno natural.

A continuación describiremos brevemente los efectos ambientales y humanos generados por la utilización de energía de origen fósil.

2.2 PROBLEMAS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PETRÓLEO.

De acuerdo con Glynn (1999), los problemas ambientales relacionados con las distintas facetas de exploración, extracción, producción, procesamiento, transmisión, uso y eliminación del petróleo se pueden resumir como se indica en la tabla 3:

TABLA 3: IMPACTOS AMBIENTALES DEL PETRÓLEO

Ambiente	Tipo de actividad			
	Exploración	Extracción, producción y procesamiento	Transmisión	Uso y eliminación
Atmosfera	Emisiones de H ₂ S e hidrocarburos como resultado de un estallido	Emisiones de SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , NOX, e hidrocarburos de las refinерías		Emisiones de SO ₂ , CO ₂ e hidrocarburos.
Hidrosfera	Estallidos y derrames de pozo de exploración marina que originan contaminación por petróleo	Estallidos y derrames, eliminación de salmuera y productos químicos de perforación, efluentes de las refinерías.	Accidentes de buques cisternas que originan contaminación por petróleo derramado.	Contaminación de aguas subterráneas por tanques con fugas.
Litosfera	Estallidos y derrames en tierra	Estallidos y derrames, eliminación de lodos.	Construcción de tuberías y vertederos. Daños al permafrost.	Eliminación de aceites usados.
Impactos humanos	Perturbación del estilo de vida	Interferencia con pesquerías	Interferencia con pesquerías o uso de suelo, perturbaciones del estilo de vida durante la construcción.	Hidrocarburos que provienen de la combustión, incluso los aromáticos polinucleados.

FUENTE: (Glynn, 1999).

La tabla 3, proporciona un inventario y una exposición de los impactos de la producción de energía de acuerdo con Leopold (1971), como se señala a continuación:

- a) Columna 1: Exploración: Incluye la búsqueda de fuentes de combustible previa a la producción. La exploración suele no tener éxito y es posible que se lleve a cabo en áreas remotas en competencia con otros usos de la tierra o el agua.
- b) Columna 2: Extracción, producción y procesamiento. Incluye la extracción del combustible de su ubicación actual por explotación, perforación de pozos, refinación de combustible (por ejemplo, una refinерía de petróleo).
- c) Columna 3: Trasmisión. Esto es el transporte del combustible desde el lugar donde se produce por tubería, carretera, ferrocarril, o buque cisterna hasta el punto de utilización.
- d) Columna 4: Uso y eliminación. Incluye la generación de productos de combustión, combustibles agotados y óxidos de azufre, nitrógeno y carbono.

Estos procesos no necesariamente se llevan a cabo en el orden indicado. Por ejemplo, habitualmente el petróleo que se extrae, se transporta y después se refina, en tanto que el gas natural se extrae y se procesa para eliminar el azufre, finalmente se transporta.

- e) Fila 1. Atmósfera. Incluye el entorno atmosférico inmediato del desarrollo y el impacto de la transportación de contaminantes en un área más extensa en un intento por resolver un problema local por dilución.
- f) Fila 2. Hidrósfera. Considera el agua dulce (río, lagos y aguas subterráneas) y los océanos. También comprende la biota nativa del agua que va desde bacterias hasta peces y mamíferos marinos.
- g) Fila 3 Litósfera. Comprende el suelo, roca y sedimentos del fondo de ríos, lagos y océanos incluso la vegetación y la vida animal concomitantes.

En las tres categorías se señala a la biota como víctima potencial del impacto ambiental. En la categoría final se consideran especialmente los impactos humanos.

- h) Fila 4. Impactos humanos. Incluye el bienestar humano en su sentido más amplio y los efectos en la salud, la economía, la seguridad, el estilo de vida, la estructura social y las consideraciones estéticas.

Entre los impactos de mayor gravedad se encuentran los “crónicos”, como emisión y efectos continuos (por ejemplo, la descarga de aguas residuales de las refinerías de petróleo), mientras que otros son ocasionales y accidentales, con un efecto masivo, las cuales se pueden producir una vez cada cinco años en promedio y durar algunos meses (por ejemplo, un derrame de petróleo).

Los derrames de petróleo pueden ser causa de mortalidad de aves y contaminación en las costas, con efectos biológicos graves en los organismos que habitan en la zona de mareas y cerca de la costa, y en valiosas pesquerías de mariscos. También ensucian embarcaciones, redes e instalaciones en las bahías, lo cual requiere una limpieza costosa.

El impacto del petróleo en el medio marino abierto es más difícil de evaluar, pero es probable que los derrames tengan cierto efecto en las pesquerías y en general, en los organismos presentes en las aguas superficiales del océano.

Existen también riesgo de derrames de azufre (SO_x) (durante la producción y recolección del petróleo) que causa acidificación de los lagos y problemas respiratorios en los seres humanos; ácido

sulfúrico (H_2S), que es muy tóxico; y dióxido de carbono (CO_2) que da origen al efecto invernadero, óxidos de nitrógeno, que causan smog fotoquímico y acidificación.

Las refinerías generan además afluentes líquidos que pueden contener hidrocarburos, fenoles, amoníaco y otras sustancias tóxicas. Los compuestos orgánicos disueltos en estos afluentes se tratan normalmente por medio de procesos de oxidación biológica y el petróleo se extrae por separación física. Es inevitable la formación de lodos compuestos de mezclas de hidrocarburos y organismos contaminados en muchos casos de metales, en particular níquel y vanadio, que están presentes en el petróleo crudo.

Durante la producción del petróleo existen daños potenciales debido a la contaminación del entorno local por productos químicos y lodos de perforación, así como la salmuera (una solución de sal) que suele salir de la formación asociada con el petróleo crudo. El petróleo se transporta por buque cisterna y por tuberías en cantidades muy grandes, y ninguno de estos medios está exento de causar contaminación ambiental.

Los derrames de petróleo de las tuberías son menos graves porque son más fáciles de controlar, pero puede haber contaminación de terrenos agrícolas que causan pérdida de productividad. Un problema especial es la construcción de tuberías para la transmisión de petróleo o gas natural en climas nórdicos, donde bajo el suelo existen estratos permanentemente congelados, llamados permafrost.

Normalmente, el petróleo se bombea caliente para disminuir su viscosidad y reducir con ello las necesidades de potencia. Por lo consiguiente, es necesario que la tubería esté bien aislada para impedir que el suelo se descongele, dado que esto causaría un hundimiento conocido como termokarst.

El uso y la eliminación de petróleo crudo traen como consecuencia la emisión de hidrocarburos y de óxido de azufre, nitrógeno y carbono, todos ellos causantes de problemas ambientales y de salud. Algunos de los hidrocarburos que se producen durante la combustión incompleta son compuestos aromáticos polinucleares como los benzopirenos que son carcinógenos potenciales.

Un impacto final es la eliminación del petróleo ya usado, en particular el aceite lubricante, que puede estar contaminado con plomo, aunque desde luego sería deseable que se vuelva a procesar dicho aceite para recuperar los hidrocarburos valiosos y eliminar la fuente de contaminación; estos suelen descargarse en rellenos sanitarios sin ningún tipo de tratamiento.

2.3 EFECTOS EN LA SALUD PÚBLICA RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS DE ORIGEN FÓSIL

En el Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, se indica que los impactos más importantes de la utilización de energía sobre la salud humana son los asociados a las emisiones a la atmósfera, por el uso de combustibles fósiles, señalando que la contaminación del aire, agrava la morbilidad (sobre todo las vías respiratorias y enfermedades cardiovasculares) y conduce a la mortalidad prematura (IPCC, 2011).

Hoy en día, los efectos de la contaminación atmosférica cobran gran relevancia a partir de una serie de episodios que tuvieron lugar en los países industrializados durante la primera mitad del siglo XX. De acuerdo con Ballester (1999), los casos ocurridos en el Valle de Mosa (Bélgica) en 1930, en Donora (Pennsylvania, EEUU) en 1948 y, sobre todo la catástrofe de Londres, en Diciembre de 1952, serían los más destacables y característicos.

En el último de los episodios citados, una densa niebla cubrió el área de Londres durante 4 días, del 5 al 8 de diciembre de 1952, acompañándose de un brusco aumento en la mortalidad. El número de muertes en exceso atribuidas a este episodio fue entre 3.500 y 4.000. Estas evidencias llevaron a la adopción de políticas de control de la contaminación, especialmente en Europa Occidental y en los Estados Unidos, las cuales han conducido a una importante reducción de los niveles de contaminación atmosférica (Ballester, 1999).

Actualmente, los niveles de contaminación en los países occidentales se han reducido, pero la preocupación por los efectos en la salud persiste. A la fecha, en el ámbito internacional, se buscan nuevas tecnologías para disminuir dichos impactos que no solo repercuten sobre la salud humana, sino también en el equilibrio ecológico del lugar que habitamos. Por ejemplo, en París se analizó el potencial de reducción de emisiones introduciendo vehículos eléctricos. Se calculó que los costos no internalizados representan alrededor de un 4.0% del costo de un auto a gasolina y un 70% de vehículos diesel. Si estos costos fueran internalizados se concluye que los precios de autos eléctricos serían competitivos frente a vehículos diesel pero no para aquellos de gasolina (BID, 2004).

Además existen evidencias de los efectos de la contaminación sobre la salud humana, en el Informe para el Diálogo Regional de Política del Banco Interamericano de Desarrollo (BID. 2004), se señala

que existen diversos efectos de los cuales algunos son cuantificables como la mortalidad de adultos mayores e infantil. Pero también hay otros que aún no pueden cuantificarse, tales como la inducción de asma entre otros, como se indica en la tabla 4.

TABLA 4: EFECTOS EN LA SALUD QUE HAN SIDO RELACIONADOS CON LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Efectos Cuantificables	Efectos No Cuantificables
Mortalidad (adultos mayores)	Inducción de asma
Mortalidad (infantil)	Efectos de desarrollo fetales / neonatales
Mortalidad neonatal	Mayor sensibilidad de vías respiratorias
Bronquitis – crónica y aguda	Enfermedades respiratorias crónicas no bronquitis
Ataques de asma	Cáncer
Admisiones hospitalarias respiratorias	Cáncer pulmonar
Admisiones hospitalarias cardiovasculares	Efectos conductuales (Ejemplo: dificultades de aprendizaje)
Visitas a sala de urgencia	Desórdenes neurológicos
Enfermedades respiratorias inferiores	Exacerbación de alergias
Enfermedades respiratorias superiores	Alteración de mecanismos de defensa
Síntomas respiratorios	Daño a células respiratorias
Días de ausentismo laboral	Menor tiempo de desarrollo de angina
Días con actividad restringida	Cambios morfológicos en el pulmón
	Arritmia cardiovascular

FUENTE: Informe para el Dialogo Regional de Política del Banco Interamericano de Desarrollo (2004).

La exposición de corto plazo a niveles altos de contaminantes también se relaciona con enfermedades de vías respiratorias superiores e inferiores: bronquitis, neumonía, enfermedad crónica obstructiva y tos con flemas. Los síntomas por exposición a contaminantes como el ozono y las partículas de diámetro pequeño, incluyen ataques de asma, tos sin flemas y sibilancias de acuerdo con el estudio “Valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire ZMVM” (PAOT, 2000).

El estudio Valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire ZMVM, nos indican que la mezcla de PM10 y ozono es más tóxica que por sí solos; mientras que otros análisis como el de

Thurston (1999) sugieren que los efectos del ozono y las partículas respirables son relativamente independientes. Esto nos indica que aún no es clara la influencia de cada contaminante en el aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad, pero esto no excluye el efecto total de las emisiones contaminantes derivadas de origen antropogénico.

En México, existen diversos estudios que advierten sobre los efectos nocivos sobre la salud de los habitantes de la ZMVM, el Programa para la mejora de la Calidad del Aire de la ZMVM (2002-2010), indica que los síntomas a causa de la exposición a la contaminación urbana del aire presentados por los habitantes de la ZMVM son principalmente: dolor pulmonar, tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, por mencionar algunos.

El sector más vulnerable a la exposición de contaminantes está constituido por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias y los asmáticos.

De acuerdo con el mismo estudio por cada aumento de 10 mg/m^3 en los niveles de PM_{10} se puede tener un incremento de entre 0.6% y 3.5% en los casos de mortalidad aguda y de 3.0% a 3.8% en los casos de mortalidad crónica. Asimismo, por un aumento de 10 mg/m^3 en los niveles de PM_{25} se puede tener un incremento de 1.7% en la mortalidad total.

Con respecto al ozono, por cada aumento de 10 ppb en los niveles de ozono se puede tener un incremento de 0.6% en los casos de mortalidad aguda y un incremento de 1.0% en los casos de mortalidad prematura (SMA, 2002).

Estimaciones realizadas en 2005 por el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2005), señalan que con la implementación de las acciones del PROAIRE 2002-2010 las concentraciones de ozono y PM_{10} disminuirán al año 2010 entre un 10.0% y 20.0%, en el siguiente capítulo se analizará la evolución de los indicadores de contaminación en la ZMVM.

Los efectos descritos en este apartado muestran la importancia a nivel mundial y regional de la implantación de energías alternativas, en el entendió que las energías de origen fósil además de su finitud, tienen efectos altamente perjudiciales sobre la salud humana y la estabilidad ambiental global, como se expondra en el apartado siguiente.

2.4 CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LA IMPLANTACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

De acuerdo con el documento denominado Nuevas Energías Renovables “Una Alternativa Para México”, publicado por el Senado de la República en el año 2004, es necesario considerar que la actual era del petróleo, junto con todos sus beneficios, ha traído numerosas consecuencias, no siempre positivas. Por ejemplo, la lucha por el control de los recursos petroleros (situación que deriva en 1960 con la creación de la OPEP), las distintas crisis de precios del siglo XX y los precios alcanzados en 2008. Todo ello evidencia que las economías productoras y exportadoras de petróleo son altamente vulnerables a la variación en los precios internacionales.

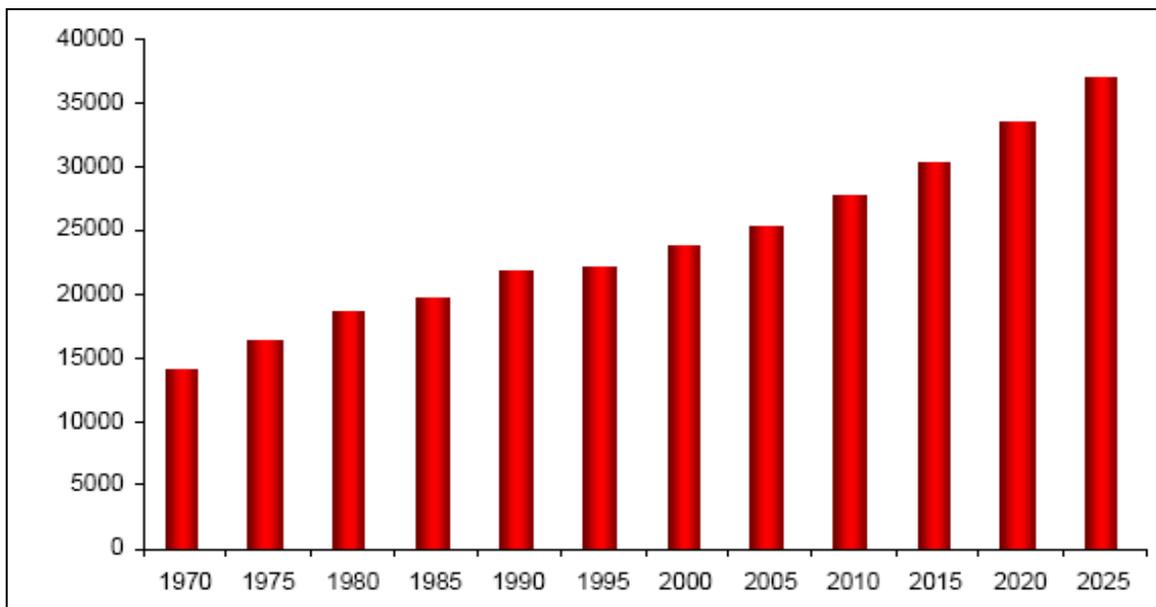
Teniendo en cuenta que los hidrocarburos son recursos finitos, así como la dependencia casi total del sector transporte con respecto a los combustibles fósiles y su demanda creciente, además de la relación de los combustibles de origen fósil con sus efectos sobre el cambio climático y la salud humana, obligan a la búsqueda de nuevas alternativas para el abasto de energía en el sector transporte.

Cabe señalar que los principales sectores que generan emisiones a la atmósfera son la generación eléctrica, altamente dependiente del carbón, petróleo y gas natural, y el segundo es el sector transporte que además de depender casi exclusivamente de combustibles de origen fósil añade el factor de su movilidad, lo que hace que sus emisiones sean difícil de controlar.

La gravedad de esta situación queda de manifiesto al analizar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), principal gas generador del cambio climático ocasionadas por la producción y el uso de energía fósil.

La gráfica 6 muestra la evolución de CO₂ y sus proyecciones al 2025. Durante el periodo comprendido entre los años 1970 y 2000 se observó un crecimiento de 1.7% anual, además se proyecta un crecimiento de 1.8% entre los años 2000 y 2025 de acuerdo con información de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2007).

GRÁFICA 6. EMISIONES DE CO₂ POR PRODUCCIÓN Y USO DE ENERGÍA DE ORIGEN FÓSIL, 1970-2025
(Millones de toneladas)



FUENTE: (IAE, 2007)

Ante este panorama, en 2004 se llevó a cabo la Conferencia Internacional para las Energías Renovables en Bonn, en la cual se acuerdan los siguientes puntos:

- A) Las energías renovables, junto con una mayor eficiencia energética pueden contribuir significativamente al desarrollo sustentable, al proveer acceso a la energía, especialmente para los pobres, al mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y a reducir la perjudicial contaminación del aire, creando nuevas oportunidades económicas y aumentando la seguridad energética a través de la cooperación y la colaboración.
- B) El compromiso de los países participantes de aumentar de manera sustancial y con carácter urgente la participación global de las energías renovables en la oferta energética.

En la Conferencia de Bonn, de la cual nuestro país es partícipe, se resaltó la importancia de las energías alternativas como instrumento para contrarrestar la dependencia de energías de origen fósil y sus efectos ambientales (Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien, 2004).

2.4.1 PANORAMA DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS PARA EL SECTOR TRANSPORTE

La demanda de energéticos de origen fósil en el sector transporte en la actualidad ha llegado a cifras insostenibles, aún para los países productores de petróleo, quienes se encuentran en un punto crítico por la declinación de sus yacimientos, además lo anterior conduce a “un incremento en los costos de los combustibles fósiles, haciendo que muchos expertos consideren a la era del petróleo, del gas natural y del carbón como algo excepcional que puede ser irrepetible en el futuro” (Sarmiento, 2010)

Al respecto, Sarmiento (2010), señala que “el tema de actualidad a nivel internacional es la manera de encontrar alternativas claves, llevando a pensar en los biocombustibles (principalmente bioetanol y biodiesel) como una salida a la preocupación de escasez o falta de energéticos, por ser la opción más fácil, debido a que no requiere de cambios significantes en la infraestructura o en los motores de los vehículos que actualmente se mantienen en circulación”.

No obstante, dichos biocombustibles si bien han tenido una tendencia inicial ascendente a nivel mundial, también han sido cuestionados fuertemente por las externalidades ocasionadas en sus procesos llegando incluso a necesitar de una certificación para garantizar que son auténticamente amigables con el ambiente, además sus balances netos de energía en muchos casos resultan negativos.

Respecto de las energías alternativas en escenarios de mediano plazo se destaca las celdas de combustible impulsadas por hidrógeno (electroquímica), la autogeneración de energía eléctrica en vehículos híbridos y la energía eléctrica generada mediante fuentes renovables como la hidráulica, geotérmica, eólica y mediante celdas fotovoltaicas.

Para esta investigación son de interés únicamente las celdas de combustible que utilizan hidrógeno, dado que las otras tecnologías listadas que tienen que ver con energías renovables geotérmicas, eólicas e hidráulicas tienen una esfera de influencia más amplia que el sector transporte por tanto el análisis que se realizará en el capítulo IV únicamente contempla a los biocombustibles como alternativa de utilización inmediata para el sector transporte y a las celdas de combustible impulsadas por hidrógeno tecnología con expectativas de mediano plazo.

Al respecto, Mytelka y Grant (2008), indica como parte de los principales problemas de la utilización del hidrógeno en el sector transporte, la incertidumbre debido a que no existe certeza sobre la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno, ni se cuenta con las características de

rendimiento de las celdas de combustible de pronto-intercambio-membrana, que puede ser competitiva con los motores de combustión interna. Así mismo señala que si bien los costos disminuyen y la eficiencia aumenta existen escenarios en los que se esperaría la masificación de este tipo de tecnologías para el año 2050, mientras que en el mejor de los escenarios conocidos, esta masificación podría darse a partir de 2020, lo cual parece coincidir con las expectativas de producción de petróleo.

CONCLUSIÓN

El análisis realizado en este capítulo nos muestra que la dependencia global que tiene la sociedad con la utilización de combustibles de origen fósil, particularmente en el sector transporte, nos permiten pensar que los efectos ambientales ocasionados por el consumo de energía fósil y la elevada proporción destinada al consumo al sector transporte, aunado al panorama general de oferta y demanda de este tipo de energéticos, podrían proporcionar un impulso para la implementación masiva de energías alternativas que puedan sustituir en alguna medida a los combustibles de origen fósil en el corto y mediano plazo.

Toda vez que tanto el cambio climático (originado por la emisión de gases de efecto invernadero), los efectos negativos en la salud humana, así como la escases futura de los recursos energéticos fósiles (por el hecho que en algún momento decrecerá su producción, generando volatilidad en los precios y escases relativa) incentivarán la utilización de fuentes energéticas alternas.

En conclusión, se debe mirar a las energías alternativas como solución a la problemática y trabajar en su implementación masiva con el fin de que la transición energética no genere sobresaltos en el bienestar global es una prioridad, y en particular las estrategias de energías renovables para el sector transporte por su contribución en la disminución del consumo de energías fósiles y emisiones contaminantes tienen un amplio margen de acción.

En el capítulo III, proponemos analizar los efectos que han tenido las políticas públicas en materia de energías renovables y mitigación de emisiones atmosféricas en el sector transporte a nivel nacional. Este análisis se realizará mediante la evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados en los planes, programas y estrategias en la materia a nivel federal y local, así como las estrategias propuestas en dichos instrumentos de política pública para la utilización de energías renovables y los impactos de estos en la ZMVM.

- CAPÍTULO III -

LOS IMPACTOS DE LA POLÍTICA PÚBLICA EN MATERIA DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

“El establecer mecanismos de política pública para un mayor aprovechamiento de las energías renovables tiene como objetivo primario cuidar dos bienes públicos directamente afectados por la energía y su uso: el medio ambiente, (el aire, el agua, el suelo) y los recursos naturales no renovables (los hidrocarburos)”. (Odón, 1999).

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo está dedicado a analizar el contexto de las energías renovables en México y los posibles impactos de la política pública en la materia, así como sus efectos en la mitigación de emisiones atmosféricas en el sector transporte a nivel nacional. Todo ello se realizará mediante la evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados en los planes, programas y estrategias en materia energética y nuevas alternativas de energía.

Esta evaluación tiene dos niveles: federal y local, con énfasis en la ZMVM. Nos centraremos en revisar las estrategias propuestas en dichos instrumentos de política pública para la utilización de energías renovables y los impactos de esto en la ZMVM.

Pregunta tópico	Objetivo
¿Cuál ha sido el impacto de los planes, programas y estrategias de gobierno enfocadas a disminuir la contaminación atmosférica producto del sector transporte y reorientar la matriz energética hacia combustibles alternativos?	Examinar los planes, programas y estrategias, nacionales y locales, que buscan la implementación de energías alternativas en el sector transporte y los impactos que están han tenido en la materia.

3.1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

De acuerdo con información de la Comisión Nacional de Energía, en la actualidad se utiliza cerca del 98.0% de la capacidad de producción de petróleo mundial, debido a éste nivel de utilización, el

sistema se encuentra al borde de su capacidad, lo que pone de manifiesto su fragilidad y vulnerabilidad (CONAE, 2004a).

Para complementar lo anterior debemos mencionar que en 1973, se produjeron eventos importantes en el mercado mundial del petróleo, manifestándose en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable y la volatilidad en los precios observada entre 2007 y 2010, razón por la cual, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía.

En la actualidad, el mundo consume 30,000 millones de barriles al año y se descubre menos de un tercio de esta cantidad. Esto está muy lejos de la situación de mediados de los 60s, cuando la tasa de descubrimientos llegó a su cima con la cifra de 45,000 millones de barriles al año y se usaban menos de 15,000 millones de barriles al año (Villarta-Perdomo, 2010).

Resultado de lo anterior, los países consumidores orillados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, han tenido que buscar nuevas opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables, entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético.

En relación con lo anterior y considerando las variaciones futuras sobre el precio de mercado y el rendimiento energético, así como a factores exógenos como los problemas de sustentabilidad ambiental, se vislumbra una transición energética de los combustibles de origen fósil, dicha transición en el sector transporte apunta a energías renovables como los biocombustibles, pero a mediano plazo nos conduce hacia nuevos vectores de energía como el hidrógeno.

En el caso de México, debido a la gran dependencia de los energéticos de origen fósil, la transición energética aún no es sólida dado que se sigue pensando que la seguridad energética nacional pasa directamente por el abastecimiento del crudo y no se le da importancia a la sustitución de combustibles, ya que se considera que “la reducción de las reservas petroleras pone en riesgo la seguridad energética del país”. Navarrete (2008), señala que debería llegarse a una tasa de reposición de reservas de “cuando menos del 100 por ciento e incluso más si se desea fortalecer la seguridad energética de México”.

Más aún, Huacuz (2008), señala que tanto la fuerte dependencia de México al petróleo, la falta de cultura ambiental y sobre todo el alto costo que aún representan para el país las energías limpias, no han permitido que el marco legal de energía renovables en el que se encuentran la “Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética” así como la

Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos se perciban de manera sólida en la atención de las necesidades del país.

En México, las energías renovables representan alrededor del 10.1% de la oferta interna bruta de energía en México (SENER, 2009), además el aumento en la participación de las energías renovables permitiría conservar los recursos no renovables nacionales, y por tanto, posponer el momento en que el país se convierta en importador neto de energéticos (SENER, 2009).

De acuerdo con la SENER (2010), existe un considerable avance en materia de utilización de energías renovables, pero este es significativo únicamente para el sector eléctrico. Por ejemplo, en México existen en la actualidad 170 MW de capacidad eólica en operación. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, éstos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos se instalaron por medio de programas gubernamentales de electrificación rural, se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW los cuales generan en promedio 0.032 TJ/año.

Para el caso del sector transporte, un ejemplo de la utilización de energías renovables en nuestro país son los bioenergéticos o biocombustibles, en el entendido que la bioenergía en sus distintas formas se puede aprovechar en aplicaciones térmicas para la generación de electricidad o para la producción de biocombustibles líquidos para transporte. Es así que nuestro país en el corto plazo, cuenta con biocombustible como el bioetanol y biodiesel viables de utilización para el sector transporte. En el mediano plazo, se vislumbra al hidrógeno con gran potencial de uso en éste sector.

3.1.1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS CON MEJORES PERSPECTIVAS EN EL SECTOR TRANSPORTE EN MÉXICO

De acuerdo con la SENER (2008), sobre los Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, se señala que para 2012, y sobre la base de etanol de jugo de caña de azúcar de cultivo de temporal en pastizales y tierras marginales, así como en proyectos de etanol que podrían desarrollarse a partir de otros insumos, podría tener lugar la sustitución del 5.7% de todas las gasolinas de las áreas metropolitanas, correspondiendo a una demanda de 1,110.6 miles de m³.

A partir del año 2012, con base en la caña de azúcar y otros insumos, como el sorgo dulce y maíz, la Secretaría de Energía señala que el 10.0% de todas las gasolinas en México podría ser reemplazado

por etanol, correspondiendo a una producción de 4,406.3 miles de m³, indicando además que estos desarrollos generarían oportunidades para la exportación e importación de etanol, mejorando de esta manera la seguridad energética y la conservación de los recursos petrolíferos (SENER, 2008).

En el caso del biodiesel, en el mediano plazo se requerirán esquemas de incentivos para la introducción del biodiesel de manera masiva a fin de permitir la sustitución de entre el 2.0% y 5.0% del diesel de petróleo después de 2012. Para llegar a sustituir un 5.0% del diesel de petróleo en el país será necesario instalar 10 plantas industriales con capacidad de 100.000 t/año cada una o más de 140 plantas pequeñas con capacidad de 5,000 t/año cada una (SENER, 2008).

Sin embargo, a pesar de la aprobación de la Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos (2009), la cual tiene por objetivo impulsar la agroindustria para la producción de etanol y otros biocombustibles como alternativa para contar con la autosuficiencia energética a través de fuentes renovables, ésta no especifica claramente los mecanismos financieros y fiscales que se utilizarán para detonar y mantener el mercado del etanol. Asimismo, esta ley no incluye la obtención de biodiesel a partir de grasas animales y desechos de aceites vegetales (CONAE, 2007).

Además, la utilización del biodiesel tiene desventajas, en primer lugar las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente se incrementan debido al incremento de presión y temperatura en la cámara de combustión, en segundo lugar, la potencia del motor disminuye y el consumo de combustible se incrementa debido a que el poder calorífico de este bioenergético es menor que el del diesel de origen fósil. No obstante, se considera que esto depende en mucho de la calidad del biodiesel que se emplea, al ser el biodiesel un mejor solvente ataca toda aquella pieza construida a partir de caucho o goma, por ejemplo las mangueras y juntas de motor, por último, no se puede almacenar por mucho tiempo, más de 21 días, debido a que se degrada (CONAE, 2007).

Estas son probablemente las energías a utilizar en el corto plazo, sin embargo, como indica la SEMARNAT (2010), para un escenario de mediano plazo hacia 2020 o 2030, se incorporarán tecnologías como las celdas de combustible de hidrógeno para generar energía en el sector transporte, las cuales aumentarán el potencial para desacoplar el crecimiento de las emisiones de GEI respecto del crecimiento económico en México, se debe tener en cuenta que las políticas ambientales son cada vez más estrictas a nivel mundial, y exigen la mejor solución a los problemas de contaminación.

Como señala Cano (1999), la inestabilidad de los precios del petróleo está forzando a países como el nuestro a estimular una economía menos dependiente de este energético, mientras que, a su vez, países compradores del petróleo ven en las celdas de combustible una solución a la búsqueda de independencia energética a corto y mediano plazos.

Por ejemplo, Estados Unidos actualmente cuenta con el Programa de Hidrógeno como Combustible (Hydrogen Fuel Initiative)^{1/}, en el que 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” (White House, 2007). Ahora bien, Europa cuenta con la Plataforma Tecnológica de Hidrógeno y Celdas de Combustible, “The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform” la cual tiene como objetivos facilitar la utilización de hidrógeno en vehículos automotores.

En efecto, “hoy en día 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”. 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 a usuarios finales particulares para automoción y aplicaciones portátiles. “En 2020 se espera que existan en Europa alrededor de 9 millones de automóviles propulsados por hidrógeno, lo que supone el 5.0% del parque vehicular, para ello, la Unión Europea deberá disponer de un mínimo de 5.000 a 10.000 estaciones de servicio de hidrógeno” (OPTI, 2007).

En el documento Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change publicado en 2011, se señala que el hidrógeno puede ser producido en varias formas según las cuales varían las emisiones de GEI, además se indica que este ofrece ventajas ambientales respecto de las energías de origen fósil. Sin embargo, pese a que muchos de los fabricantes de motores y de automóviles más importantes del mundo han desarrollado prototipos de automóviles y autobuses sus costos son muy elevados, lo anterior porque aún no se han producido en masa, asimismo por los relativamente cortos tiempos de vida de las celdas de

^{1/} En su discurso sobre el Estado de la Nación del 2003, el expresidente 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 efecto invernadero” (White House, 2007).

combustible. Se proyecta que los costos de las celdas de combustible caerá con las mejoras adicionales resultantes de la invocación tecnológica y las economías de escala y la curva de aprendizaje (IPCC, 2011).

En México también hay avances, nuestro país cuenta con 36 plantas para la generación de hidrógeno con una capacidad instalada de 16,797 toneladas por año. De estas plantas, 25 de ellas operan con gas natural, en tal caso la producción por planta, estándar promedio es de 20,000 SCFH, (536 NCMH). En este caso operando las plantas a su máxima capacidad de diseño se estarían consumiendo 87,871, 696 m³ de gas natural al año, 6 plantas operan con propano al 97.0%, en este caso la producción estándar promedio es de 15,000 SCFH (400 NCMH). Por último 5 operan por vía electrólisis, su producción estándar promedio es de 1,866 SCFH, (50 NCMH) (CONAE, 2011).

Las plantas que generan hidrógeno vía reformación catalítica de hidrocarburos, entregan un hidrógeno producto típicamente a 14.7 Kg/cm² y a 28 °C, en estado gaseoso, la pureza típica de diseño es de 99.99% en volumen, las impurezas son básicamente CO, CO₂ y H₂O. Las plantas que generan hidrógeno vía electrólisis, entregan un hidrógeno producto típicamente a 2 Kg/cm² y a 28°C, en estado gaseoso, la pureza es típicamente de 99.99% en volumen, las impurezas son básicamente O₂ y H₂O, los estados con mayor capacidad instalada para la generación de hidrógeno son: Veracruz, Estado de México, Jalisco, Nuevo León y Coahuila (CONAE, 2011).

Al respecto Serrano y Muciño (2010), señalan que con la generación eoelectrónica y su acumulación a través del Hidrógeno, se puede, en cierta medida, resolver la incapacidad de almacenar energía eléctrica. Plantean el método de electrólisis ^{2/} para la obtención del Hidrógeno, una vez obtenido puede invertirse el proceso para obtener nuevamente energía eléctrica y agua pura.

Dichos autores argumentan que a partir de este método y considerando que México cuenta con grandes recursos eólicos en varias regiones, por ejemplo la central eólica "La Venta" ubicada en una de las regiones con mayor potencial eólico en el mundo, el corredor eólico del Istmo de Tehuantepec, la producción de hidrógeno, impulsaría el desarrollo regional y nacional creando nueva infraestructura, desarrollando tecnología de última generación en sistemas energéticos, diversificando

^{2/} Un electrolizador es un arreglo de celdas electrolíticas técnicamente optimizadas e interconectadas para obtener hidrógeno gaseoso y oxígeno a partir del agua (H₂O) por el fenómeno de electrólisis. Los productos de salida son gases y calor sin ningún residuo contaminante. Estos dispositivos son capaces de utilizar cualquier fuente de energía eléctrica (solar, eólica, red eléctrica) para producir hidrógeno y oxígeno.

el portafolio energético del país y preparándonos para realidades energéticas futuras (Serrano y Muciño, 2010).

Un factor importante de mencionar es la seguridad. De acuerdo con el artículo Hydrogen safety (2010), hay una comparación de ignición entre dos automóviles, uno que utiliza gasolina y el otro hidrógeno y muestra que “sesenta segundos después de la ignición (fotografía 1), la flama de hidrógeno comenzó a disminuir, mientras que el fuego debido a la gasolina se intensificó. Después de 100 segundos, la flama de hidrógeno desapareció sin dañar el interior del auto (La temperatura máxima en la parte interior del parabrisas posterior fue solo de 19.4 °C), el auto de gasolina continuó incendiándose por varios minutos y fue completamente destruido.

FOTOGRAFÍA 1. PRUEBA DE IGNICIÓN ENTRE DOS AUTOMÓVILES CON USO DE HIDRÓGENO Y GASOLINA.



FUENTE: Serrano y Muciño (2010).

Esta prueba de seguridad demuestra la confianza de la utilización de ésta energía, pero, más importante para México, como señalan Serrano y Muciño (2010), casos como el de la planta Central Eoeléctrica La Venta II, permitiría abaratar aún más los costos de la producción de hidrógeno por electrólisis. Los futuros desarrollos planeados en centrales eólicas permitirían, si se integran estos sistemas productores de hidrógeno, producir hidrógeno en gran escala y diversificar el portafolio energético.

En resumen, las condiciones nacionales para la generación de hidrógeno son favorables, toda vez que en el país existen por lo menos cinco estados con potencial de generación. (Esto es, se cuenta con el 16.0% del territorio nacional con capacidad instalada para la generación de hidrógeno). La Zona Metropolitana del Valle de México, cuenta con capacidad instalada en el Estado de México, hecho que indica la posibilidad de utilización de hidrógeno en el sector transporte.

A continuación expondrán las posibilidades del uso de los combustibles alternativos en el sector transporte desde la perspectiva de la política pública.

3.2 LA POLÍTICA PÚBLICA EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MITIGACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES A NIVEL FEDERAL

En este apartado se analiza la política pública en materia de energías renovables enfocadas al sector transporte y mitigación de emisiones contaminantes a la atmosfera, con el fin de identificar objetivos, estrategias y metas, los cuales servirán para verificar el impacto de la política.

Para la realización de dicho análisis, revisamos los informes anuales de labores de las distintas dependencias que participan en la ejecución de la política, sin embargo es importante mencionar que este trabajo se centra únicamente en la revisión de los instrumentos de política pública vigentes, debido a que no es pertinente la revisión de políticas no vigentes ya que no existen indicadores de medición en cuanto a su eficacia.

A nivel Federal, el PND 2007-2012, señala que uno de los ejes centrales de las políticas públicas de México es el desarrollo sustentable, proponiendo impulsar el uso eficiente de energía, así como la utilización de tecnologías que permitan disminuir el impacto ambiental generado por los combustibles fósiles tradicionales. Razón por la cual el Plan Nacional incluye el Eje 4: Sustentabilidad Ambiental. Apartado 4.5 Cambio climático, el cual incorporara las siguientes estrategias:

- i. Promover el uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte.
- ii. Impulsar la adopción de estándares internacionales de emisiones vehiculares

Además, éste programa señala las siguientes prioridades: en primer lugar, el país debe contar con combustibles más limpios y establecer incentivos económicos que promuevan el uso de vehículos más eficientes, así como la renovación de la flota vehicular. En segundo lugar, utilizar las compras del

gobierno para impulsar dicho mercado; En tercer lugar, normas y estándares que obliguen a incrementar la eficiencia de los nuevos vehículos y limitar así las emisiones de CO₂. Por último, establecer en todo el país programas periódicos y sistemáticos de inspección y mantenimiento vehicular, así como sistemas eficientes de transporte público e impulsar el transporte ferroviario.

El Programa Sectorial de Energía 2007-2012, indica que el medioambiente es uno de los elementos de la competitividad y desarrollo económico y social. Además, señala que por medio de la utilización de fuentes renovables de energía se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales, particularmente causada por los combustibles fósiles, y disminuir proporcionalmente la contaminación. Finalmente, nos menciona que las fuentes renovables pueden contribuir a reducir los riesgos asociados con la volatilidad de precios de los combustibles fósiles al equilibrar el portafolio energético. La tabla 1 nos muestra los principales objetivos, estrategias y líneas de acción definidos en éste programa:

TABLA 1: RELACIÓN DE OBJETIVOS, ESTRATEGIAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN CONTENIDOS EN EL PROGRAMA SECTORIAL DE ENERGÍA

Objetivo	Estrategia	Línea de acción
Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables.	Programa Nacional de Energías Renovables.	Identificar opciones apropiadas para el desarrollo de las energías renovables en el país y ordenarlas de acuerdo a sus beneficios económicos, sociales y ambientales. Formular proyectos demostrativos y programas de implementación en esta materia.
	Promover la creación y fortalecimiento de empresas dedicadas al aprovechamiento de las energías renovables	Fomentar la inversión privada para la creación y fortalecimiento de empresas dedicadas al diseño y fabricación de componentes y equipos que utilizan las energías renovables, así como a la instalación y venta de equipos.
	Desarrollar esquemas de financiamiento que agilicen e incrementen el aprovechamiento de fuentes renovables de energía	Impulsar la cooperación entre los sectores público, privado y social para el desarrollo de esquemas de fomento a las fuentes renovables de energía.
	Realizar estudios de viabilidad de los biocombustibles que permitan definir la conveniencia y factibilidad social, ambiental, técnica y económica para su introducción paulatina en la mezcla de combustibles para el transporte.	Identificar, en coordinación, con las Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y de Economía, las acciones apropiadas para el desarrollo de biocombustibles en el país y ordenarlas de acuerdo con sus beneficios económicos, sociales y ambientales. Formular proyectos demostrativos y programas de implementación en materia de biocombustibles que promuevan su desarrollo.

Objetivo	Estrategia	Línea de acción
Mitigar el incremento en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI).	Reducir las emisiones de GEI a la atmósfera, mediante patrones de generación y consumo de energía cada vez más eficientes y que dependan menos de la quema de combustibles fósiles.	Promover la utilización de combustibles que dañen en menor medida al medio ambiente y la salud pública, en la industria, el sector público, el transporte y el sector doméstico.
	Aumentar la disponibilidad de los combustibles con bajo contenido de azufre comercializados por Pemex.	Fomentar la construcción de nuevas plantas de postratamiento de gasolina y de diesel; la modernización de las plantas de destilados intermedios y su integración a las refinerías del Sistema Nacional de Refinación, para obtener gasolinas y diesel de ultra bajo azufre.

FUENTE: Secretaría de Energía, Programa Sectorial de Energía 2007-2012.

Como vemos en la tabla 1, el objetivo principal de fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables (PSE, 2007), muestra relevancia ya que indica la necesidad del país de explorar nuevas fuentes de energía afines al medio ambiente. Es importante hacer mención, que se deberá dar prioridad a éstas nuevas fuentes energéticas, por las externalidades generadas por los combustibles fósiles y las tendencias en el stock del recurso.

Siguiendo en el mismo nivel de análisis, pero en materia ambiental, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 nos señala que uno de los objetivos principales a lograr es la protección de la atmósfera y la contribución de México en la lucha contra los efectos del cambio climático. Reconoce además, en el caso del transporte, que las emisiones se derivan tanto del mal estado de la flota vehicular del país como de la calidad de los combustibles disponibles.

El mismo programa sectorial, establece que para mitigar este problema debe actuarse en dos vertientes fundamentales: primero, mejorar las tecnologías de combustión y postratamiento de gases en la flota vehicular; segundo, suministrar combustibles para el transporte con especificaciones de protección ambiental, indicando además que es necesario realizar acciones para controlar las emisiones debido al costo en salud, así como por los valores de concentración de contaminantes superiores a los permitidos.

Para éste fin, el programa plantea los siguientes objetivos, metas y estrategias mismos que ilustra la tabla 2, en el que se establece como objetivo por alcanzar “prevenir, reducir y controlar la emisión de contaminantes a la atmósfera para garantizar una adecuada calidad del aire que proteja la salud de la población y de los ecosistemas” (PSMAyRN, 2007), para su cumplimiento se deberá “apoyar a las autoridades estatales y municipales en el diseño e implementación de una política integral de

transporte sustentable y fomentar la modernización del transporte público urbano para mejorar la movilidad urbana” (PSMAyRN, 2007).

TABLA 2: RELACIÓN DE OBJETIVOS, ESTRATEGIAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN CONTENIDOS EN EL PROGRAMA SECTORIAL DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Objetivo	Estrategia	Línea de acción
<p>Prevenir, reducir y controlar la emisión de contaminantes a la atmósfera para garantizar una adecuada calidad del aire que proteja la salud de la población y de los ecosistemas.</p>	<p>Aplicar, actualizar y desarrollar instrumentos normativos y de gestión para prevenir, reducir y controlar la emisión de contaminantes.</p>	<p>Establecer especificaciones que deben reunir los combustibles, de forma tal que el país cuente con energéticos de protección ambiental, en particular se vigilará el cumplimiento de la NOM-086 y se apoyará a Pemex y a las autoridades del sector energía, en lo que soliciten, para la oportuna ejecución del Proyecto de Calidad de Combustibles Fósiles.</p> <p>Adecuar y mantener actualizadas las disposiciones regulatorias sobre emisiones de los medios de transporte, en particular las NOM-044 (vehículos pesados), NOM-042, 044 y 076 (vehículos nuevos) y NOM-041, 045, 048 (vehículos en circulación).</p> <p>Apoyar, impulsar y fortalecer programas de verificación vehicular a escala nacional de vehículos de jurisdicción federal, mediante el trabajo intersectorial con la SCT para la definición de equipamiento y aprobación de centros fijos de verificación vehicular.</p> <p>Apoyar a las autoridades estatales y municipales en el diseño e implementación de una política integral de transporte sustentable y fomentar la modernización del transporte público urbano para mejorar la movilidad urbana.</p> <p>Fomentar y establecer programas de autorregulación para reducir las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética en el transporte mediante la adopción de mejores prácticas, procesos y tecnologías.</p> <p>Apoyar, impulsar y fortalecer acciones para el establecimiento de programas de verificación vehicular obligatorios en entidades federativas, así como las características a las que deberán sujetarse los administradores y usuarios de los programas.</p> <p>Fomentar la modernización del transporte público urbano y la mejora de la movilidad urbana por medio de la ampliación de las líneas de transporte público masivo (metro y autobuses). Se buscará apoyar a las autoridades locales en el diseño de una mejor política integral de transporte sustentable.</p>

Objetivo	Estrategia	Línea de acción
	<p>Aplicar y desarrollar instrumentos de fomento y concertación, en el ámbito de competencia de la Secretaría, a fin de promover las inversiones necesarias para la reducción de emisiones y concertar acciones coordinadas con los tres órdenes de gobierno y la sociedad civil organizada.</p>	<p>Fortalecer el marco jurídico en materia de calidad del aire.</p> <p>Establecer los mecanismos y criterios para definir las áreas, zonas, regiones o cuencas atmosféricas prioritarias y los elementos de coordinación para determinar la saturación y depuración de las cuencas atmosféricas.</p> <p>Establecer las directrices, los criterios y las etapas para la elaboración de Programas de Gestión de la Calidad del Aire (Proaires) en las entidades federativas, así como las obligaciones y responsabilidades de los tres órdenes de gobierno.</p> <p>Colaborar con las autoridades locales en el desarrollo de los Proaires en zonas urbanas y en regiones con altos índices de contaminación o que exceden con frecuencia los valores límite de contaminantes en el aire.</p>

FUENTE: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa Sectorial de Energía 2007-2012.

En la tabla 2, el objetivo de prevenir, reducir y controlar la emisión de contaminantes a la atmósfera para garantizar una adecuada calidad del aire que proteja la salud de la población y de los ecosistemas, indica que la reducción de la contaminación es el eje central de la política, sin embargo carece de un aspecto económico para ser integral por lo que se revisó además el Programa Sectorial de Economía 2007-2012.

En el ámbito económico el Programa Sectorial de Economía 2007-2012 señala que su objetivo principal es la generación de una Economía competitiva y generadora de empleos, indicando además que sin ser su objetivo directo contribuye al logro de diversos objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, destacando el Objetivo 5: Integrar la conservación del capital natural del país con el desarrollo social y económico, no obstante lo anterior no se encuentran estrategias diseñadas para el cumplimiento de dicho objetivo.

Debido a que el tema que ocupa esta investigación son las implicaciones de la utilización de los combustibles de origen fósil en el sector transporte se identificó el siguiente objetivo que tiene relación con el sector automotriz; objetivo rector 4.1 Impulsar la reconversión y el crecimiento de sectores estratégicos y de alto valor agregado; línea estratégica 4.1.2. Impulsar el escalamiento de la producción hacia manufacturas de alto valor agregado (automotriz, electrónica, autopartes, entre otras); acciones: a) Formular agendas sectoriales a partir de diagnósticos compartidos con los

sectores. (PSE, 2007). No obstante no se registran indicadores y resultados en el seguimiento de dichas acciones, por lo que no resultan evaluables en este estudio.

Si bien no se cuenta con una política desde la Secretaría de Economía, que contribuya a la disminución de la contaminación y la transición energética, sí señala que su política es el fomento del empleo y la producción destacando en lo anterior el sector automotriz, en claro incumplimiento de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, al no realizar ninguna acción para asegurar la conservación del capital natural del país con el desarrollo social y económico.

Además es importante mencionar que si bien no existe una política clara de fomento a la compra de automóviles, si existen propuestas del sector en el que solicitan: la eliminación del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN), el incremento al ciento por ciento de la deducibilidad de los vehículos, es decir, que se eleve a 300 mil pesos, porque hoy en día es sólo de 175 mil pesos, y hacer deducibles los intereses sobre los créditos para vehículos a personas físicas (Aguilar, 2010).

En suma, la política pública federal en materia energética refiere la necesidad de implementar y promover nuevas tecnologías con el fin de contribuir a mitigar los efectos del cambio climático, la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles y la disminución de daños a la salud humana por la quema de fuentes fósiles, en el entendido que éstas deberán contribuir a la disminución de dichos problemas.

En materia ambiental, la política pública señala el interés de impulsar estas mismas tecnologías, a fin de disminuir las emisiones contaminantes y con ello el impacto en la salud de la población y mejorar la estabilidad ecológica. Pero en materia económica se carece de una política que complemente los objetivos de la transición energética y de la mitigación de las emisiones contaminantes.

Para fines expositivos se considera pertinente señalar que el nuevo Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, señala que “Hoy, existe un reconocimiento por parte de la sociedad acerca de que la conservación del capital natural y sus bienes y servicios ambientales, son un elemento clave para el desarrollo de los países y el nivel de bienestar de la población”.

No obstante, en el mismo documento se indica que “el crecimiento económico del país sigue estrechamente vinculado a la emisión de compuestos de efecto invernadero, generación excesiva de residuos sólidos, contaminantes a la atmósfera, aguas residuales no tratadas y pérdida de bosques y selvas”.

A fin de atender esta situación, se estableció el objetivo 4.4. Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo, el cual es su estrategia 4.4.3. Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, incluyó las siguientes líneas de acción:

- Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.
- Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados, de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o compuestos de efecto invernadero.
- Contribuir a mejorar la calidad del aire y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de los apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles.

No obstante lo anterior, aún no se han formulado los respectivos programas sectoriales por lo que no es posible conocer las formas en las que se realizarán las acciones descritas en este programa.

3.3 LA POLÍTICA PÚBLICA EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MITIGACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES EN LA ZMVM

A nivel local el principal instrumento de política pública en materia de reducción de emisiones contaminantes en el transporte es el Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM 2002-2010, el cual tiene por objeto “proteger la salud humana de los efectos nocivos causados por la contaminación atmosférica en la ZMVM”, además el programa señala que en el Valle de México el sector transporte tiene la mayor participación en la generación de contaminantes atmosféricos, y define las siguientes metas por contaminantes para el año 2010:

TABLA 3: RELACIÓN DE METAS EN MATERIA DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL PROAIRE ZMVM 2002-2010

Contaminante	Meta
<p>Ozono</p> <p>La Norma Oficial Mexicana establece que las concentraciones de ozono no deben exceder 0.11 ppm (100 puntos IMECA), en períodos de una hora, una vez al año</p>	<p>Eliminar las concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA.</p> <p>Reducir el número de días en que las concentraciones de ozono se encuentren en el intervalo de 101 a 200 IMECA.</p> <p>Aumentar el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma (100 puntos IMECA o menos).</p>
<p>Partículas Menores a 10 micrómetros</p> <p>La Norma Oficial Mexicana, establece que las concentraciones de PM₁₀ no deben exceder 150 µg/m³ en períodos de 24 horas (100 puntos IMECA). También establece que las concentraciones promedio anual no deben exceder 50 µg/m³</p>	<p>Aumentar el número de días en que las concentraciones diarias de PM₁₀ se encuentran dentro del límite establecido por la norma.</p> <p>Reducir el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀.</p>
<p>Partículas Menores a 2.5 micrómetros</p>	<p>En México aún no se ha establecido oficialmente un límite a la concentración de partículas con un diámetro menor a 2.5 micrómetros. No obstante, se prevé que el límite que se adoptará será de 65 µg/m³ para promedios de 24 horas y de 15 µg/m³ como promedio anual.</p>
<p>Monóxido de carbono</p> <p>La Norma Oficial Mexicana establece que las concentraciones de este contaminante no deben exceder más de 11 ppm en períodos de 8 horas. En la revisión de dicha norma que está próxima a publicarse, el nuevo límite podrá reducirse a 9 ppm, en períodos de 8 horas, en concordancia con los criterios internacionales.</p>	<p>Eliminar las concentraciones de monóxido de carbono que excedan el límite de 9 ppm (promedio de 8 horas).</p> <p>Reducir las concentraciones actuales de monóxido de carbono.</p>

FUENTE: (SMA, 2002).

El programa también definió las siguientes estrategias para la reducción de emisiones contaminantes en el sector transporte:

TABLA 4: RELACIÓN DE ESTRATEGIAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN CONTENIDAS EN EL PROAIRE ZMVM 2002-2010

Estrategia	Sector	Acción
A) Modernización y mejoramiento tecnológico (reducción de emisiones por kilómetro recorrido):	En el caso de los vehículos en circulación se requiere	<p>El fortalecimiento de la verificación de vehículos a gasolina y sobre todo a diesel</p> <p>La retroadaptación de sistemas de control de emisiones</p> <p>La instalación de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina y de trampas de partículas en vehículos a diesel</p> <p>La sustitución de motores y trenes motrices en vehículos a diesel</p> <p>Conversión a gas natural comprimido con sistemas certificados</p> <p>Regularización del uso de gas licuado de petróleo</p> <p>Detención y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes,</p> <p>Sustitución de vehículos de servicio público que no cumplan con requerimientos ambientales, de seguridad y otros.</p>
	Vehículos nuevos	<p>Introducción de vehículos a gasolina que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos (TIER II),</p> <p>En el corto plazo, establecimiento de normas de emisión equivalentes a TIER II,</p> <p>En el mediano plazo, establecimiento de normas e incentivos para acelerar la introducción de vehículos de emisiones ultra bajas (híbridos, GNC, etc.) y emisiones cero,</p> <p>Introducción de gasolina de menor contenido de azufre (Magna de 300 ppm en el corto plazo y Premium de 50 ppm),</p> <p>Introducción de vehículos a diesel que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos,</p>
	Mejoramiento de la capacidad de transporte público de pasajeros:	<p>Sustitución de microbuses por autobuses.</p> <p>Ordenamiento del transporte público de superficie.</p> <p>Mejoramiento del transporte masivo (metro, tren ligero, trenes suburbanos, autobuses urbanos, etc).</p>
	Racionalización y regulación del transporte de carga:	<p>Regulación espacial y temporal del tránsito de vehículos de carga.</p> <p>Como parte del estudio integral para el mejoramiento del transporte de carga, definición de mecanismos para optimizar la distribución de carga (vehículos pesados para transporte interurbano, vehículos de menor capacidad para transporte intraurbano, articulados con centros de consolidación de carga).</p>
B) Mejoramiento de las condiciones de vialidad (incremento de la velocidad de circulación):		<p>Instrumentación de corredores viales para agilizar la circulación del transporte público.</p> <p>Mejoramiento de infraestructura y señalización vial.</p>
C) Reducción de la tasa de crecimiento de viajes por persona y distancias recorridas por viaje:		<p>Integración de las políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y medio ambiente.</p> <p>Vinculación con las políticas de desarrollo sustentable a nivel federal, del Estado de México y el Distrito Federal.</p>

FUENTE: Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.

En la Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal publicada en 2006, se señala que la mitigación de emisiones es la principal medida que se puede adoptar para abatir las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y que para esto existen dos formas principales de mitigación: 1) el control de las fuentes de emisión y 2) el aumento o preservación de los sumideros de carbono, indicando las siguientes líneas estratégicas y acciones en el sector transporte:

TABLA 5: RELACIÓN LÍNEAS ESTRATÉGICAS Y ACCIONES CONTENIDAS EN LA ESTRATEGIA LOCAL DE ACCIÓN CLIMÁTICA DEL DISTRITO FEDERAL

Líneas estratégicas	Acciones
1. Introducción de nuevas políticas de transporte de pasajeros y carga, entre ellas, la creación de corredores de transporte, la regulación de horarios y el diseño de rutas directas o exprés, así como la promoción de ciclistas.	
2. Nuevas medidas de organización de tránsito.	<ul style="list-style-type: none"> a) Ampliación y mejoramiento de vialidades, con el fin de evitar congestiones. b) Mejoramiento de la red de transporte público mediante el confinamiento de vías para autobuses, la regulación de microbuses y taxis y la ampliación del metro. Estas opciones tienen como objetivo transportar a la mayor cantidad de gente con el mínimo consumo de combustible y coadyuvar a la circulación fluida del transporte. c) Control del número de vehículos en circulación. d) Organización de taxis en sus bases, para reducir el tiempo que circulan sin pasajeros y, por tanto, reducir el uso de combustible y las emisiones de GEI a la atmósfera.
3. Sustitución por alternativas de transporte más limpio	<ul style="list-style-type: none"> a) Utilización de combustibles fósiles con bajo porcentaje de carbono, como el gas natural comprimido (GNC) en lugar de gasolina. b) Utilización de combustibles renovables como hidrógeno o biodiesel, con los cuales se reducen significativamente las emisiones de GEI. Desafortunadamente estas alternativas son caras y no están suficientemente desarrolladas en México. c) Introducción de tecnologías más limpias como vehículos híbridos (electricidad y gasolina), vehículos de celdas de combustible y motores que utilicen energía eléctrica para su funcionamiento. d) Renovación de la flota vehicular de transporte público.
4. Establecimiento de normas para el control de emisiones	

FUENTE: Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, Estrategia de Acción Climática del Distrito Federal.

Además en la ZMVM existen políticas y medidas orientadas a la mitigación de la contaminación atmosférica como se describe a continuación:

TABLA 6: PROGRAMAS VIGENTES Y CRITERIOS DE OPERACIÓN EN LA ZMVM

Programa	Criterios de operación
Programa Hoy no circula	<p>Los vehículos nuevos pueden obtener holograma doble cero y están exentos del Programa Hoy No Circula.</p> <p>Los vehículos con menos de ocho años de antigüedad que cumplan con los límites de emisión podrán obtener el holograma cero y exentar el Programa.</p> <p>Los vehículos con más de ocho años de antigüedad podrán obtener el holograma uno si cumplen con los límites de emisión, por lo que dejan de circular un día a la semana.</p> <p>Los vehículos 1990 y anteriores sólo pueden obtener el holograma dos, por lo que también deberán dejar de circular un día a la semana.</p>
Programa de Verificación Vehicular	<p>La verificación vehicular obligatoria deberá efectuarse de conformidad con lo previsto en las normas oficiales mexicanas</p> <ul style="list-style-type: none"> • NOM-041-SEMARNAT-2006 • NOM-045-SEMARNAT-2006 • NOM-047-SEMARNAT-1999 • NOM-050-SEMARNAT- 1993
Metrobus	<p>Mejoramiento de la red de transporte público mediante el confinamiento de vías para autobuses</p> <p>Retiro de circulación de microbuses</p>

FUENTE: (SMA, 2011)

Además se considera pertinente exponer el eje rector y las estrategias contenidos en el Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire PROAIRE 2011-2020.

El objetivo rector del PROAIRE 2011-2020 es “Establecer un enfoque ecosistémico en la gestión de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México”, para lo cual se establecieron las siguientes estrategias:

1. Ampliación y refuerzo de la protección a la salud.
2. Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM.
3. Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes.
4. Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular.
5. Cambio tecnológico y control de emisiones.
6. Educación ambiental, cultura de la sustentabilidad y participación ciudadana.
7. Manejo de áreas verdes, reforestación y naturación urbanas fortalecimiento institucional e investigación científica.

De las estrategias contenidas en ese documento las número 2, 3, 4 y 5 se relacionan directamente con el objeto de esta investigación, no obstante el PROAIRE 2011-2020, no incluye mecanismos de rendición de cuentas que permitan verificar el cumplimiento y avance de su objetivo rector y de sus estrategias, razón por la cual no es posible continuar con su análisis.

3.4 RESULTADOS DE LA POLÍTICA PÚBLICA EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MITIGACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES A NIVEL FEDERAL Y LOCAL.

En éste inciso, se pretendía analizar los resultados de los informes de labores presidenciales correspondientes al periodo 2007-2012, ya que estos debieran contener el cumplimiento de las metas del Plan Nacional de Desarrollo, así como los informes de labores de ese mismo periodo de los Programas Sectoriales de Energía, Medio Ambiente y Economía, sin embargo con el análisis realizado se encontró que los resultados contenidos en estos informes son únicamente de gestión, los cuales no permiten medir el impacto de la política.

Debido a lo anterior, a continuación se plantea un análisis del consumo de gasolina y diésel a nivel nacional, poniendo especial énfasis en la Zona Metropolitana del Valle de México, ya que como se describió en el apartado anterior la implementación de energías renovables y la eficiencia energética son los ejes fundamentales de la política, así que un resultado de impacto tendría que ser la disminución del consumo energético en el sector transporte y al mismo tiempo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El análisis se realizó con estadísticas del Sistema de Información Energética de la secretaria de energía, de la que se obtuvieron los volúmenes de venta de gasolina y diesel por entidad federativa, no obstante lo anterior el análisis se realizará tomando en cuenta los totales nacionales y los datos que corresponden al Distrito Federal y el Estado de México exceptuando la región de Toluca, para así obtener un subtotal de la Zona Metropolitana del Valle de México como se muestra en la tabla 7:

TABLA 7: CONSUMO DE GASOLINA A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZMVM 1990-1999
(Millones de litros)

Entidad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Total Nacional	23,634.4	28,230.4	28,657.2	29,262.4	30,168.8	28,705.7	28,995.3	29,818.9	30,560.0	30,514.7
Subtotal Zona Metropolitana del Valle de México	6,253.2	7,106.4	7,236.0	7,229.4	7,534.8	7,204.2	7,064.4	7,227.5	7,355.9	7,419.5
Distrito Federal	5,612.0	6,107.5	5,370.5	5,156.5	5,391.8	5,143.3	5,155.3	5,921.0	5,250.4	5,269.4
Estado de México	641.2	999.0	1,865.6	2,072.9	2,142.9	2,060.9	1,909.1	1,306.5	2,105.5	2,150.0
Variación absoluta respecto al total nacional (porcentaje)	26.46	25.17	25.25	24.71	24.98	25.10	24.36	24.24	24.07	24.31
Variación absoluta respecto al año anterior Nacional (porcentaje)	0.0	19.4	1.5	2.1	3.1	-4.8	1.0	2.8	2.5	-0.1
Variación absoluta respecto al año anterior ZMVM (porcentaje)	0.0	13.6	1.8	-0.1	4.2	-4.4	-1.9	2.3	1.8	0.9

FUENTE: Sistema de Información Energética, Información Estadística, Secretaría de Energía.

Como se puede observar en la tabla 7, durante el periodo 1990-1999, el consumo de gasolina en la ZMVM creció en un 18.7% al pasar de 6,253.2 millones de litros en 1990 a 7,419.5 millones de litros en 1999.

En el periodo 2000-2009, como muestra la tabla 8, el consumo de gasolina en la ZMVM creció en un 17.5% al pasar de 7,620.2 millones de litros en 2000 a 8,956.2 millones de litros en 2009, con lo que se demuestra que las políticas públicas ambientales no han tenido efectos sobre el consumo de combustible, ni se ha avanzado en la integración de energías alternativas en el sector.

TABLA 8: CONSUMO DE GASOLINA A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZMVM 2000-2009
(Millones de litros)

Entidad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Total Nacional	31,887.4	32,966.7	33,681.9	35,622.9	37,851.2	39,744.1	42,505.9	45,010.0	46,924.2	46,793.1
Subtotal Zona Metropolitana del Valle de México	7,620.2	7,743.8	7,845.3	7,936.6	8,102.9	8,282.0	8,615.2	8,888.3	9,084.7	8,956.2
Distrito Federal	5,435.4	5,528.3	5,823.1	5,647.3	5,707.0	5,731.5	5,866.4	6,045.3	6,091.2	5,947.8
Estado de México	2,184.8	2,215.6	2,022.2	2,289.2	2,395.9	2,550.5	2,748.8	2,842.9	2,993.5	3,008.4
Variación absoluta respecto al total nacional (porcentaje)	23.90	23.49	23.29	22.28	21.41	20.84	20.27	19.75	19.36	19.14
Variación absoluta respecto al año anterior Nacional (porcentaje)	4.5	3.4	2.2	5.8	6.3	5.0	6.9	5.9	4.3	-0.3
Variación absoluta respecto al año anterior ZMVM (porcentaje)	2.7	1.6	1.3	1.2	2.1	2.2	4.0	3.2	2.2	-1.4

FUENTE: Sistema de Información Energética, Información Estadística, Secretaría de Energía.

De acuerdo con la gráfica 1, el consumo de gasolina en la ZMVM, ha disminuido en términos relativos respecto al total nacional pero en términos reales ha seguido creciendo, mostrando bajas únicamente en los años en los que la actividad económica se ha contraído debido a crisis generalizadas, tal es el caso de la crisis de 1994 y la reciente crisis de 2008 que tiene efectos sobre el consumo de gasolina en el año 2009.

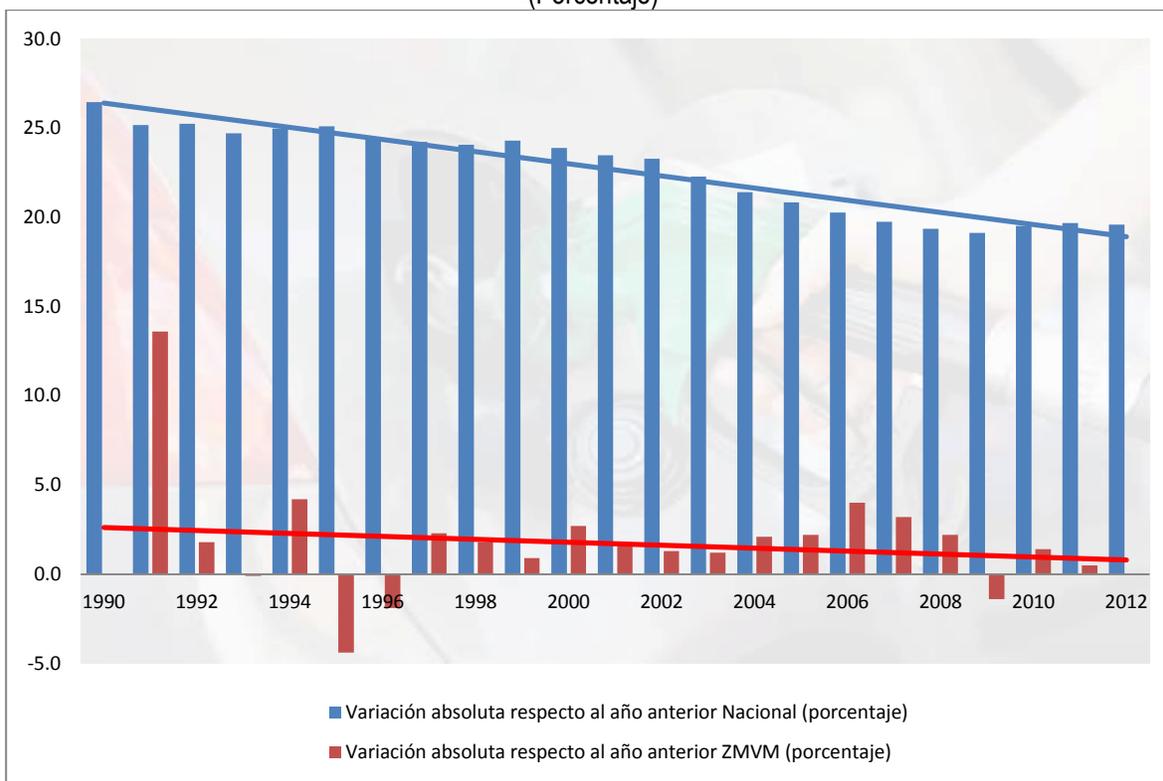
En el periodo 2010-2012, como muestra la tabla 9, el consumo de gasolina en la ZMVM se incrementó en 0.5% al pasar de 9,081.9 millones de litros en 2010 a 9,130.8 millones de litros en 2012, con lo que se demuestra que las políticas públicas ambientales no han tenido efectos sobre el consumo de combustible, ni se ha avanzado en la integración de energías alternativas en el sector.

TABLA 9: CONSUMO DE GASOLINA A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZMVM 2010-2012
(Millones de litros)

Entidad	2010	2011	2012
Total Nacional	46,522.3	46,377.4	46,613.0
Subtotal Zona Metropolitana del Valle de México	9,081.9	9,129.6	9,130.8
Distrito Federal	6,034.1	5,991.2	5,983.0
Estado de México	3,047.7	3,138.4	3,147.8
Variación absoluta respecto al total nacional (porcentaje)	19.52	19.69	19.59
Variación absoluta respecto al año anterior Nacional (porcentaje)	-0.6	-0.3	0.5
Variación absoluta respecto al año anterior ZMVM (porcentaje)	1.4	0.5	0.014

FUENTE: Sistema de Información Energética, Información Estadística, Secretaría de Energía.

GRÁFICA 1: CONSUMO DE GASOLINA A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZMVM 2000-2009
(Porcentaje)



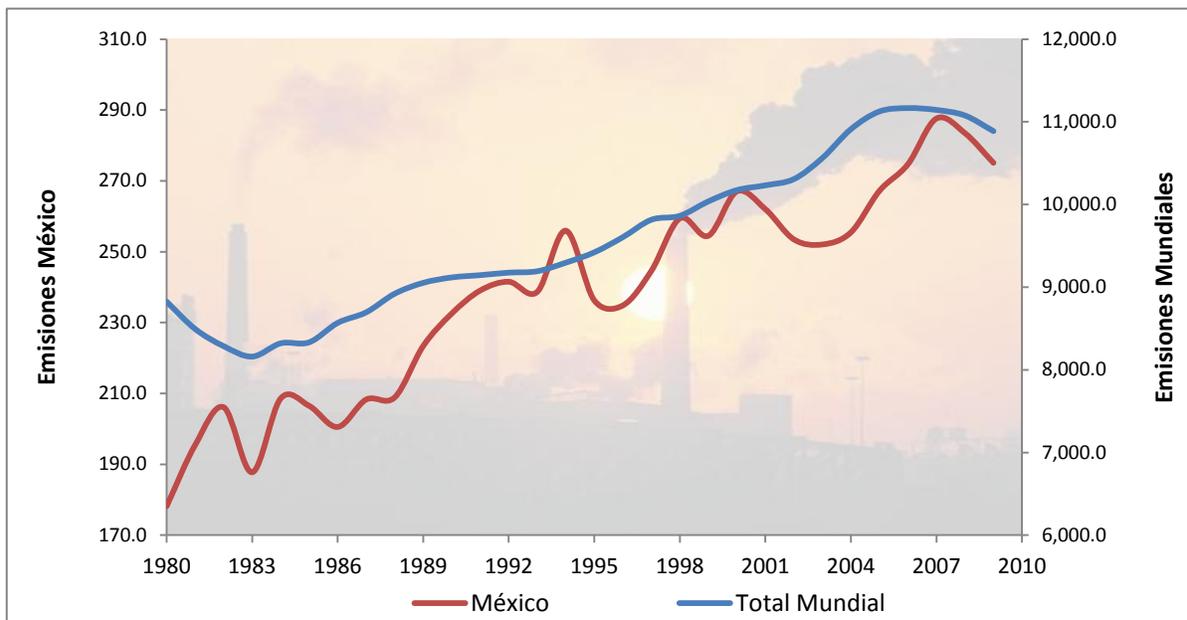
FUENTE: Sistema de Información Energética, Información Estadística, Secretaría de Energía.

Además de lo anterior se identificaron políticas contrarias al objetivo de disminuir el consumo de combustible de origen fósil, como el decreto por el que el gobierno federal cubrirá el pago de tenencia para quien compre un auto nuevo con un valor de hasta 250.000 pesos (cerca de 19.800 dólares), y anunció que ese impuesto quedará eliminado por completo el 31 de diciembre de 2011.

Si bien esa política favorece a la industria automotriz y generaría la expectativa de renovación del parque vehicular, en el que las unidades nuevas tienen una mayor eficiencia en el consumo de combustibles y una baja sensible en las emisiones contaminantes la realidad es que los automóviles viejos no son retirados de la circulación, por lo que esta política incrementa el parque vehicular favoreciendo a los usuarios particulares e incrementando el consumo de combustibles.

En materia de emisiones contaminantes se realizó un análisis sobre las emisiones de CO₂, producto del consumo de combustibles fósiles y se observó que tanto a nivel global, como nacional las disminuciones en las emisiones corresponden a una contracción en la actividad económica, y no a ninguna política pública como se muestra en la gráfica 2.

GRAFICA 2. EMISIONES DE CO₂, PRODUCTO DEL CONSUMO DE PETRÓLEO
(Millones de toneladas)



FUENTE: (EIA, 2010).

En la gráfica 2, se observa que pese a los esfuerzos realizados por reducir las emisiones a la atmosfera de CO₂ uno de los gases de efecto invernadero más representativo, estas emisiones sólo disminuyen cuando existe una crisis económica que induzca una reducción de la actividad global, por lo que no son resultado de ninguna política pública.

CONCLUSIÓN

Con el análisis realizado en este capítulo concluimos que si bien existe potencial para la generación de energías renovables, este potencial básicamente se enfoca a la generación de energía eléctrica. No obstante, en el corto plazo para el sector transporte tenemos a los distintos tipos de biocombustibles y en el mediano plazo se espera la utilización de celdas de combustible de hidrógeno como elemento que permita disminuir el consumo de energéticos de origen fósil.

Es cierto que existe una serie de estrategias nacionales y locales para atender el problema de la utilización de combustibles de origen fósil, sin embargo, éstas no han reportado avances que permitan cumplir con sus objetivos. El marco jurídico y de planeación de mediano plazo no ha creado sinergias que den resultados positivos en cuanto a la disminución de la utilización de combustibles

fósiles, debido a que los precios de mercado no permiten que los combustibles alternativos se consoliden como opciones viables.

No obstante, las alternativas que analizamos en ésta capítulo, nos permiten plantear un análisis social de la utilización de los combustibles alternativos a los de origen fósil, en el entendido que su tiempo de aplicación será diferenciado; esto es porque el hidrógeno se espera pueda utilizarse en el mediano plazo. Por todo ello, consideramos de gran interés su análisis en este trabajo de investigación.

“Las revoluciones económicas verdaderamente importantes de la historia se producen cuando una nueva tecnología se funde con un régimen energético emergente para crear un paradigma económico completamente nuevo” (Rifkin, 2002).

- CAPÍTULO IV -

DETERMINACIÓN DEL COSTO SOCIAL DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

“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” (Nadal, 2007).

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará una valoración social de la utilización de combustibles de origen fósil en el sector transporte, comparándola con la utilización de biocombustibles e hidrógeno para dicho sector, con el objetivo de identificar las principales externalidades de cada uno de estos combustibles a partir del año 2010 y proyectando dicho análisis hasta el año 2030. Para el análisis se tomarán en cuenta las estimaciones de consumo de combustibles, los precios privados y los costos sociales. Además, es importante mencionar que cada energético presenta peculiaridades que se plantearán a lo largo del capítulo.

Pregunta tópico	Objetivo
¿El costo social, (costo privado más costo de las externalidades) debe ser la variable determinante en la adopción de los combustibles alternativos?	Calcular el costo social de la utilización de energías de origen fósil en el sector transporte y contrastarlo con el costo social de la utilización de energías alternativas hidrógeno y biocombustibles en la ZMVM.

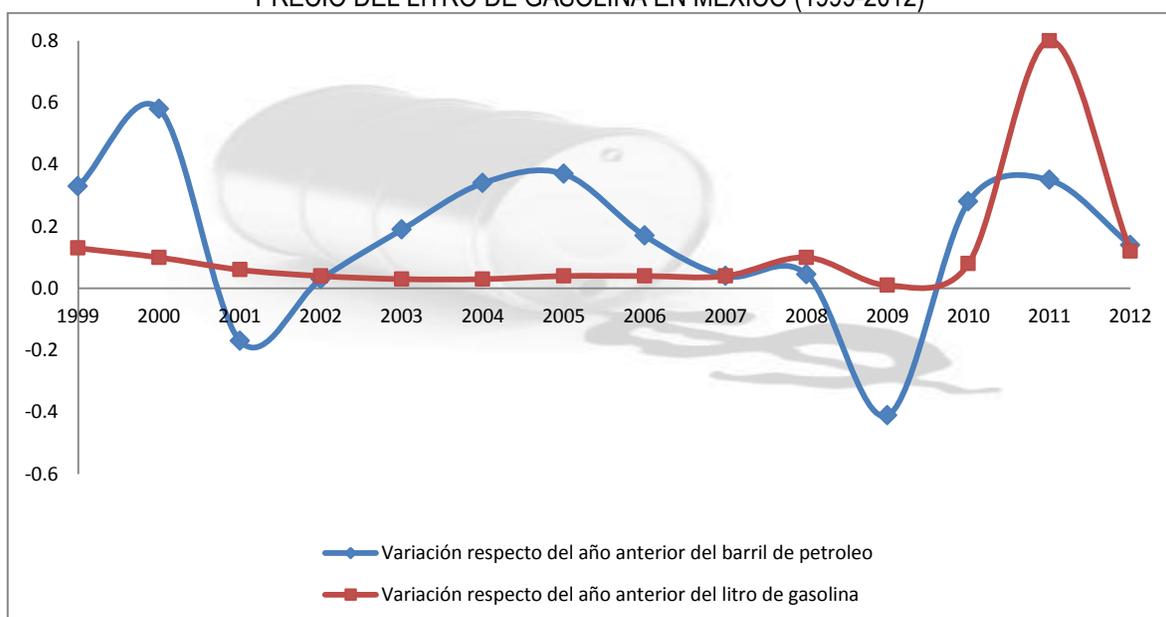
4.1 DETERMINACIÓN DE LAS EXTERNALIDADES GENERADAS POR EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

Como punto de partida de este capítulo es importante mencionar que en la última década el precio del barril de petróleo, tomando como referencia el WTI, ha sufrido incrementos significativos de hasta un 315.6% al pasar de 25.3 dólares por barril en 2001 a 105.1 dólares en 2008. Durante el periodo 2008-2010, se observó una disminución de 25.2% en el precio del barril de petróleo al pasar

de 105.1 dólares en 2008, a 78.6 dólares en 2010; sin embargo, el incremento acumulado en el periodo 2001-2010 fue de 211.0%, lo que implica que en 10 años el precio del barril del petróleo se triplico, generando preocupación por la seguridad energética nacional dado que el precio de la gasolina está vinculado al del petróleo y aquella es un elemento fundamental de las actividades económicas del país.

En la gráfica 1, se observa el comportamiento de los incrementos en los precios del petróleo y la gasolina.

GRÁFICA 1. TASA DE CRECIMIENTO DE LOS PRECIOS DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI Y DEL PRECIO DEL LITRO DE GASOLINA EN MÉXICO (1999-2012)



FUENTE: Sistema de Información Energética, Información Estadística, Secretaría de Energía.

Como se puede observar en la gráfica 1, el precio de la gasolina está anclado al precio del petróleo, no obstante en México el precio de la gasolina no obedece de manera inmediata a las fluctuaciones del mercado ya que es un precio administrado por el estado, sin embargo las fluctuaciones acontecidas en el último quinquenio muestran la misma tendencia que el precio de la gasolina, con una tendencia positiva durante 2005, 2008 y 2010, así como valles en los años 2007 y 2009.

Asimismo se observa que durante en los años 2011 y 2012 se registraron variaciones coincidentes entre los precios del petróleo y de la gasolina.

Se debe recordar que un factor importante para la utilización de los combustibles fósiles es su precio, por tanto si éste continúa incrementándose abre una oportunidad a los combustibles alternativos y obliga a buscar sustitutos a los convencionales.

En la actualidad la utilización de hidrocarburos genera un contexto de costos sociales y ambientales que están fuera del mercado y que bajo la forma de externalidad impiden la utilización de combustibles alternativos, ya que su precio de mercado es más elevado. Lo anterior, aunado a los pronósticos de crecimiento en la demanda y la tendencia de crecimiento en los precios, plantea la realización de una evaluación social de la utilización de combustibles sustitutos en el sector transporte para su utilización en la Zona Metropolitana del Valle de México, dada la densidad de población que la habita y los impactos que el sector tiene en la sociedad.

Para este fin proyectamos realizar una valoración social considerando las externalidades generadas por cada combustible (gasolinas, hidrógeno, biocombustibles), comparando sus beneficios y costos, con el fin de encontrar el combustible que maximice la utilidad social al minimizar los costos sociales, en un horizonte de 20 años, de acuerdo con la metodología de El Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).

4.1.1 ORIGEN DEL PROYECTO Y OBJETIVO DE ESTUDIO

Origen del Proyecto: La Zona Metropolitana del Valle de México, concentra el 19.0% de la población total nacional en sólo 0.25% del territorio, y además el 57.0% de su consumo de combustibles se destina al sector transporte generando al año entre 22 y 27 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente a la atmósfera al tiempo que sus costos inciden de manera directa sobre la actividad económica.

Objetivo del Estudio: Identificar, mediante una valoración a través de precios sociales, el combustible (gasolina, biocombustible e hidrógeno) que maximice la utilidad social en el sector transporte, al minimizar los costos sociales, en un horizonte de 20 años.

4.1.2 SITUACIÓN ACTUAL

En la tabla siguiente se presentan los principales problemas sociales, económicos y ambientales generados por el sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México y su cuantificación:

TABLA 1. ESTIMACIÓN DEL VALOR DE LAS EXTERNALIDADES GENERADAS POR LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM.

Principales Variables de la ZMVM.	Efectos cuantificables	Cuantificación	Efectos no cuantificables
Aproximadamente 19 millones de residentes en la ZMVM.	Efectos a la salud		
	Mortalidad (adultos mayores)	Costos anuales aproximados a \$1,500 millones de dólares como consecuencia de enfermedades provocadas por la contaminación de origen vehicular (INE, 2004b).	
	Mortalidad (infantil)		
Se realizan 29.1 millones de viajes diarios (SETRAVI, 2000).	Mortalidad neonatal		
	Bronquitis – crónica y aguda		
	Ataques de asma		
El 84.0% de la contaminación del aire en ZMVM está relacionada directamente con el transporte (SMA, 2000b).	Admisiones hospitalarias respiratorias	Aproximadamente 4,000 muertes prematuras anuales, atribuidas a la contaminación atmosférica (INE, 2004b).	
	Admisiones hospitalarias cardiovasculares		
	Visitas a sala de urgencias		
	Enfermedades respiratorias inferiores		
	Enfermedades respiratorias superiores		
	Sintomas respiratorios	Pérdida de 2.5 millones de días de trabajo por enfermedades relacionadas con la contaminación (INE, 2004a).	
	Días de ausentismo laboral		
	Días con actividad restringida		
	Efectos socioeconómicos		
	Disminución en la calidad de vida de la población en general por pérdida de tiempo.	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).	
	Sobreoferta del sistema de transporte públicopor parte de pequeños concesionarios,operando microbuses (peseros) con muy pocaregulación y control.	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).	
	Los usuarios de transporte público y privadoestán expuestos a niveles de concentración decontaminación atmosférica entre 2 y 6 vecesmayores que las personas en sitios al aire libre(Gómez, 2006).		Inducción de asma Efectos de desarrollo fetales / neonatales Mayor sensibilidad de vías respiratorias Enfermedades respiratorias crónicas no bronquitis Cáncer Cáncer pulmonar Efectos conductuales (Ej., dificultades de aprendizaje) Desórdenes neurológicos Exacerbación de alergias Alteración de mecanismos de defensa Daño a células respiratorias Menor tiempo de desarrollo de angina Cambios morfológicos en el pulmón Arritmia cardiovascular

FUENTE: Elaboración propia con información de (SETRAVI, 2000), (SMA, 2000b), (Gómez, 2006), (INE, 2004b), (INE, 2004a), (SETRAVI, 2004), (BID, 2004).

En la tabla 1, se señala el valor de las externalidades generadas por la utilización de combustibles de origen fósil en la ZMVM de acuerdo con los estudios disponibles, debemos recordar que el precio de dichas externalidades más el precio de mercado de los combustibles fósiles son una aproximación al costo social de la utilización de dichos combustibles. Dichos valores se emplearán en este estudio para determinar la competitividad de los combustibles alternativos frente a los convencionales.

Como parte de la valoración social se estima la situación que se puede presentar si no se toman medidas en el tema de estudio, a lo que denominamos “Situación sin proyecto”; al respecto, la situación sin proyecto en cuanto a la contaminación atmosférica y la disminución de la utilización de hidrocarburos, no tiene perspectiva de mejorar más allá de la introducción de combustibles cada vez más limpios como las Gasolinas de Ultra Bajo Azufre ^{1/}. Sin embargo, las expectativas de crecimiento del parque vehicular y de la población pueden anular la disminución de contaminación individual por unidad en el caso de los vehículos nuevos.

En la tabla 2, se señalan las principales variables y sus tendencias de crecimiento en caso de continuar el patrón actual de consumo de combustibles fósiles en el sector transporte, de acuerdo con la (SENER, 2010) y (SMA, 2010).

TABLA 2. ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES, VEHÍCULOS Y EMISIONES DE CO₂ (2010-2030)

Variables	2010		Tasa de crecimiento esperada		Tasa de Eficiencia Energética	Pronostico al 2030	
	Nacional	ZMVM	Nacional	ZMVM		Nacional	ZMVM
Consumo total de combustibles fósiles en el sector transporte ^{1/}	2,427.5	429.0	3.9	1.9		5,217.7	625.1
Total de vehículos automotores ^{2/}	24,756.0	5,382.9	6.3	5.2	2.5	60,206.4	10,594.8
Emisiones de CO ₂ ^{3/}	279.2	24.2	1.5	1.5		474.6	41.1

FUENTE: (SENER 2010) y (SMA, 2010).

^{1/}: Pentajoules.

^{2/}: Miles.

^{3/}: Millones de toneladas.

^{1/} 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 de grandes dimensiones.

Como se puede observar de la tabla 2, el incremento en el consumo de combustibles fósiles será sensiblemente menor que el incremento de vehículos a nivel nacional y local, sin embargo el consumo de combustible se mantendrá por lo que las emisiones de CO₂ asociadas permanecerían al alza, resultando en externalidades y reducción de bienestar social creciente.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS COSTOS SOCIALES DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM

Se plantean tres escenarios con un horizonte temporal de 20 años en los que se abordan las perspectivas de la utilización de combustibles de origen fósil, biocombustibles e hidrógeno para el sector transporte; en dichos escenarios se pretende obtener el costo social asociado a la utilización de cada uno de ellos.

A continuación se describe las variables que se esperan calcular y las razones e igualdades que servirán para plantear un modesto modelo que permita estimar el comportamiento de las variables.

Valoración social	Razones e igualdades
<p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de combustibles fósiles:</p> <p>Precio de mercado de los combustibles fósiles. (PCF)</p> <p>Costos asociados a la utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)</p> <p>Avances tecnológicos (Eficiencia en procesos) (ATF)</p> <p>Efectos de la escasez en el precio privado de los combustibles fósiles. (EE)</p> <p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de biocombustibles:</p> <p>Precio de mercado de los biocombustibles. (PBC)</p> <p>Precio de indiferencia de la producción de biocombustibles (PIBC)</p> <p>Costos asociados a la utilización de biocombustibles (externalidades). (CEB)</p> <p>Costo social evitado por la no utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)</p> <p>Cuantificación y medición de los costos sociales derivados de la utilización de hidrógeno:</p> <p>Precio de mercado de hidrógeno. (PCH)</p> <p>Costos asociados a la utilización de hidrógeno (externalidades). (CEH)</p> <p>Costo social evitado por la no utilización de combustibles fósiles (externalidades). (CEF)</p> <p>Avances tecnológicos (Eficiencia en procesos) (ATF)</p>	<p>Los resultados obtenidos en la valoración social de se usaran para resolver el siguiente sistema de ecuaciones con el objetivo de proyectar los escenarios derivados del proyecto de investigación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $CSF = PCF + CEF - ATF + EE$ 2) $CSB = PBC + PIBC + CEB - CEF$ 3) $CSH = PH + CEH - CEF - ATH$ 4) $PEFB = (CSF = CSB)$ 5) $PEFH = (CSF = CSH)$ <p>En donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>CSF: Costosocialdecombustiblesfósiles</i> • <i>CSB: Costosocialdelosbiocombustibles</i> • <i>CSH: Costosocialdelhidrógeno</i> • <i>PEFB: Equilibriofósiles, biocombustibles</i> • <i>PEFH: Equilibriofósiles, hidrógeno</i>

FUENTE: Elaboración propia.

Para la realización de la valoración social de los combustibles de origen fósil vs los combustibles alternativos, como se determinó en el cuadro anterior primeramente se cuantificará el costo asociado

a la utilización de los combustibles de origen fósil, para lo cual se identificará el volumen total de emisiones contaminantes en la ZMVM y la proporción correspondiente al sector transporte como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3. EMISIONES POR SECTOR EN LA ZMVM, 2008

Sector	Emisiones (Miles de toneladas por año)								Total
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	
Total	24.3	5.5	6.7	1,568.4	188.1	946.7	591.4	20.2	3,351.3
Fuentes puntuales	5.0	0.9	3.4	7.0	20.1	134.2	129.2	0.2	299.8
Fuentes de área	14.7	1.6	0.0	9.3	12.0	581.7	241.3	15.2	875.8
Vegetación y suelos	0.7	0.1	0.0	0.0	1.0	35.6	35.6	0.0	73.1
Fuentes móviles	3.9	2.8	3.3	1,552.2	154.9	195.2	185.4	4.8	2,102.6
Autos particulares	1.0	0.5	1.7	638.1	60.7	94.1	90.7	3.4	890.0
Taxis	0.2	0.1	0.3	190.3	21.0	15.7	14.4	0.7	242.5
Vagonetas y Combis	0.0	0.0	0.1	114.2	5.9	8.3	7.6	0.1	136.2
Microbuses	0.1	0.0	0.1	106.2	10.9	15.6	14.1	0.2	147.3
Pick up	0.1	0.0	0.1	106.0	4.9	10.0	9.5	0.2	130.8
Vehículos de carga de 3 ton.	0.1	0.1	0.1	44.5	2.8	5.0	4.8	0.1	57.5
Tractocamiones	1.5	1.2	0.2	27.2	16.7	4.8	4.5	0.0	56.1
Autobuses	0.4	0.3	0.4	35.3	22.0	5.9	5.6	0.0	69.9
Vehículos de carga may de 3 ton.	0.5	0.4	0.2	134.4	8.2	8.6	8.0	0.1	160.5
Motocicletas	0.1	0.1	0.1	156.0	1.6	27.2	26.2	0.0	211.3
Metrobuses	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4

FUENTE: (SMA, 2010).

La información de la tabla 3, si bien contiene datos referentes al año 2008, es la información más reciente que se encuentra disponible ya que es la misma que se expone en el PROAIRE 2011-2020.

Como se observa en la tabla 3, las fuentes móviles, es decir, el sector transporte es responsable de la emisión de 2,102.6 miles de toneladas a la atmósfera (62.7%) del total de las 3,351.3 miles de toneladas emitidas en 2008, de acuerdo con datos de (SMA, 2010).

Con información de la tabla 1, estimación del valor de las externalidades cuantificables por la utilización de combustibles de origen fósil, y de la tabla 2, estimación del consumo de combustibles fósiles en el sector, se obtendrán proporciones y estimaciones del costo de las externalidades como se muestra en las siguientes tablas.

TABLA 4. ESTIMADO DEL COSTO DE LAS EXTERNALIDADES GENERADAS POR LOS COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL EN EL SECTOR TRANSPORTE
(Miles de pesos)

Variables	Valor estimado	Proporción de la contaminación atmosférica debida al sector transporte 4/	Valor estimado de la proporción de la contaminación atmosférica debida al sector transporte
Total costo de las externalidades	133,750,000.0		128,434,750.0
Aproximadamente 4,000 muertes prematuras anuales, atribuidas a la contaminación atmosférica. 1/	13,500,000.0	62.7	8,464,500.0
Pérdida de 2.5 millones de días de trabajo por enfermedades relacionadas con la contaminación. 2/	750,000.0	62.7	470,250.0
Pérdidas económicas anuales a causa del tiempo perdido en tráfico (viaje promedio hogar-casa-hogar = 2.5 hrs). 3/	119,500,000.0	100.0	119,500,000.0

FUENTE: Elaboración propia con datos de (INE, 2004a), (INE, 2004b), (INEGI, 2012), (BANXICO, 2012).

1/: Para obtener el valor económico de la pérdida de estas vidas se obtuvo el salario promedio en la ZMVM en 2012 y se obtuvo a partir de este dato el salario anual y se multiplico por 30 dado que no se dispone de datos sobre las edades promedio de la gente afectada por tanto asumimos una vida productiva completamente perdida.

2/: Se obtuvo el salario promedio diario en la ZMVM en el año 2012 según datos del IMSS y se multiplico este dato por el número de días perdidos anualmente por enfermedades relacionadas con la contaminación.

3/: Se obtuvo el dato del tipo de cambio promedio durante 2012, y se multiplico por los 10,000 millones de dólares que de acuerdo con el INE cuesta el tiempo perdido en el tráfico de la ZMVM.

4/: La proporción obedece a la participación del sector transporte en las emisiones totales de acuerdo a lo señalado en la tabla "Emisiones por sector en la ZMVM" correspondientes a datos de 2008.

Una vez definido el costo de las externalidades derivadas de la utilización de combustibles fósiles en el sector transporte de la ZMVM se integrará al análisis el volumen de consumo y los precios para tener un acercamiento al costo social de la utilización estos combustibles, como se muestra en la tabla 5.

TABLA 5. COSTO SOCIAL DE LOS COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM

Volumen de consumo de energía de origen fósil en el sector transporte (Millones de litros) 1/	Precio promedio de los combustibles de origen fósil (Millones de pesos) 2/	Costo de las externalidades derivadas de la utilización de combustibles fósiles (Millones de pesos)	Costo social de los combustibles de origen fósil (Millones de pesos) 3/
11,942.0	127,301.7	128,434.8	255,736.5

FUENTE: Elaboración propia con datos de la tabla 3 y 4 e información de (INEGI, 2012).

1/: Se obtuvo de la conversión de Pentajoul a litros.

2/: Resultado del promedio del costo de la gasolina durante 2012.

3/: Se derivó de la suma del precio promedio de los combustibles fósiles más el costo de las externalidades derivadas la utilización de combustible de origen fósil.

En la tabla 5, se observa que el precio de mercado de los combustibles de origen fósil de 127,301.7 millones de pesos representa el 49.8% del costo social de 255,736.5 millones de pesos, lo que implica que el costo real de los combustibles de origen fósil por litro en 2012 fue de 21.4 pesos, lo que representó 10.74 pesos más que el precio promedio que fue de 10.66 pesos.

Una vez determinado el costo social de los combustibles de origen fósil y conociendo que el factor de eficiencia energética esperado por la SENER es de 2.5% anual, se incluyen en el análisis las expectativas en la evolución de precios para conocer la tendencia del costo social bajo el esquema de utilización de combustibles de origen fósil en el sector transporte.

La tabla 6, describe la evolución de los precios de las gasolinas y el precio de la mezcla mexicana.

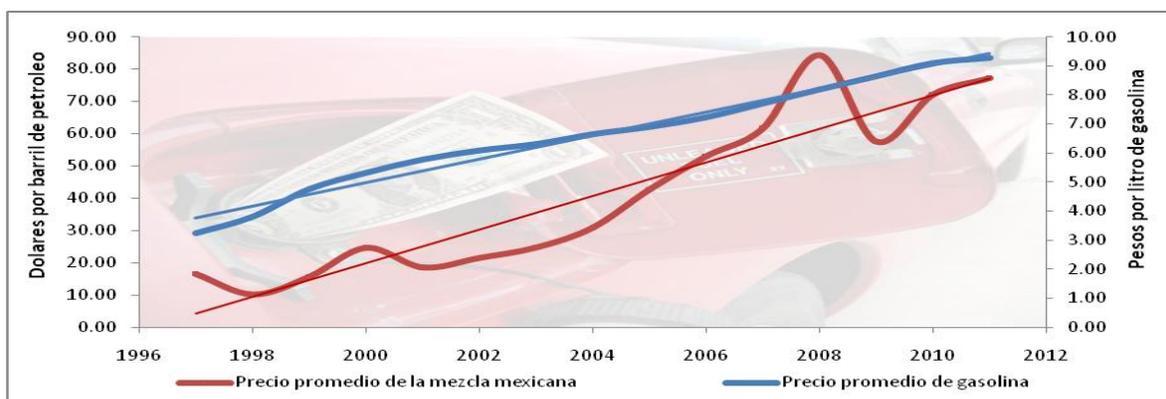
TABLA 6. EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LA MEZCLA DE EXPORTACIÓN MEXICANA Y LOS PRECIOS DE LA GASOLINA

Variable	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2012	TMCA
Precio promedio de la mezcla mexicana (Dólares por barril)	16.51	15.70	18.57	24.75	42.76	61.70	57.56	77.27	103.62	14.02
Precio promedio de gasolina (Pesos por litro)	3.25	4.77	5.78	6.32	6.90	7.71	8.65	9.28	10.66	8.85

FUENTE: Elaboración propia con datos (INEGI, 2011).

En la tabla 6, se observa que si bien el precio de la gasolina y de los combustibles de origen fósil son en general precios administrados por el Estado, el precio de exportación de la mezcla mexicana es un precio de mercado; éstos no coinciden, pero tienen la misma tendencia como se muestra en la gráfica 2.

GRÁFICA 2. PRECIOS DEL BARRIL DE PETRÓLEO MEZCLA MEXICANA Y PRECIO DEL LITRO DE GASOLINA EN MÉXICO (1997-2012)



FUENTE: Elaboración propia con datos (INEGI, 2011).

Con los datos obtenidos hasta el momento estamos en condiciones de plantear la evolución de los precios de los combustibles vehiculares de origen fósil en un horizonte de 20 años; la tabla 7 muestra la tendencia que seguirá el costo social de dichos combustibles hasta el año 2032.

TABLA 7. PROYECCIÓN DEL COSTO SOCIAL DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL EN LA ZMVM

Año	Estimación de consumo de combustibles (Millones de litros) (A)	Estimación del precio de mercado de los combustibles (Millones de pesos) (B)	Estimación del costo de las externalidades (Millones de pesos) (C)	Eficiencia Energética (Millones de pesos) (D)	Estimación del Costo Social (Millones de pesos) (E) = (B) + (C) - (D)
2012	12,400.1	131,106.1	137,582.5	3,277.7	265,411.0
2013	12,635.7	144,004.3	142,397.9	3,600.1	282,802.1
2014	12,875.8	158,171.5	147,381.8	3,954.3	301,599.0
2015	13,120.4	173,732.4	152,540.2	4,343.3	321,929.3
2016	13,369.7	190,824.2	157,879.1	4,770.6	343,932.7
2017	13,623.7	209,597.5	163,404.9	5,239.9	367,762.5
2018	13,882.6	230,217.8	169,124.0	5,755.4	393,586.4
2019	14,146.3	252,866.6	175,043.4	6,321.7	421,588.3
2020	14,415.1	277,743.6	181,169.9	6,943.6	451,970.0
2021	14,689.0	305,068.1	187,510.8	7,626.7	484,952.2
2022	14,968.1	335,080.7	194,073.7	8,377.0	520,777.4
2023	15,252.5	368,046.0	200,866.3	9,201.1	559,711.1
2024	15,542.3	404,254.4	207,896.6	10,106.4	602,044.7
2025	15,837.6	444,025.0	215,173.0	11,100.6	648,097.4
2026	16,138.5	487,708.2	222,704.1	12,192.7	698,219.6
2027	16,445.1	535,689.0	230,498.7	13,392.2	752,795.5
2028	16,757.6	588,390.1	238,566.2	14,709.8	812,246.5
2029	17,076.0	646,276.0	246,916.0	16,156.9	877,035.1
2030	17,400.4	709,856.7	255,558.0	17,746.4	947,668.3
2031	17,731.0	779,692.5	264,502.6	19,492.3	1,024,702.7
2032	18,067.9	856,398.7	273,760.2	21,410.0	1,108,748.9

FUENTE: Elaboración propia.

- A: Con el dato de consumo de 2012 y el estimado de crecimiento de 1.9% anual se proyecta el consumo hasta el año 2032.
- B: Tomando como referencia la TMCA de 8.85 observada durante el periodo 1997-2012, se asume constante para este análisis durante el periodo 2012-2032.
- C: Se obtuvo al considerar la tasa de crecimiento esperada de 1.5% anual de incremento en las emisiones contaminantes en la ZMVM.
- D: Se calculó considerando el 2.5% anual esperado por la SENER en materia de eficiencia energética por tanto se obtiene esa proporción del consumo total y se multiplica por el precio lo cual se resta al costo social.

Estas son las tendencias que se han observado hasta el momento, por lo cual son una proyección estática; sin embargo, dicha proyección recoge el comportamiento de las variables en los últimos años, por lo que utilizaremos estos datos para comparar la evolución en precios sociales de los combustibles de origen fósil y los combustibles alternativos.

4.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS COSTOS SOCIALES DE LA UTILIZACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM.

En materia de biocombustibles vehiculares existen dos tipos, el llamado biodiesel y el etanol; es importante resaltar que estos combustibles se utilizan como complementos al mezclarse con los combustibles convencionales de origen fósil. Al respecto, como se señaló en el capítulo III, los pronósticos de la SENER estiman que para el año 2012 el 10.0% de la gasolina consumida en las principales zonas metropolitanas del país podría ser remplazado por etanol desarrollado a partir de la caña de azúcar y otros insumos como el sorgo dulce y el maíz.

Lo anterior es una política pública que no tiene que ver con la competitividad económica de los biocombustibles; de acuerdo con la SENER, la utilización de etanol mezclado con gasolina, es una forma de preservar los recursos fósiles del país, “Basado en la experiencia internacional, un programa de etanol como combustible puede ser ideado como parte de una transición hacia sistemas de transporte sustentables.

No se espera que el combustible etanol desplace completamente a la gasolina del mercado en ningún momento. Por el contrario, el etanol puede alargar los recursos petrolíferos logrando una moderada cuota de mercado y ahorrando gasolina para el futuro” (SENER, 2008). En la tabla 8, se señala la evolución del consumo y producción de biocombustibles en México y en el Mundo.

TABLA 8. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLE A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL
(Miles de litros diarios)

Año	Producción			Consumo		
	Mundial	Nacional	Proporción	Mundial	Nacional	Proporción
2007	179,198.5	15.9	0.009	160,555.5	15.9	0.010
2008	236,865.9	15.9	0.007	216,129.4	15.9	0.007
2009	260,047.1	32.3	0.012	251,810.0	32.3	0.013

FUENTE: (EIA, 2010).

Como se observa en la tabla 8, la participación de México en la producción y consumo de biocombustibles durante los años 2007-2009 es marginal, no obstante la SENER plantea la sustitución del 6.0% de las gasolinas utilizadas en las zonas metropolitanas de México, Guadalajara y Monterrey para el año 2012, con lo cual de acuerdo con la SAGARPA (2010), se requerirían 800 mil hectáreas de cultivo de caña de azúcar destinada a la producción de bioetanol, con requerimientos mínimos de precipitación de 1500 mm por temporada.

Es importante mencionar que el planteamiento oficial de mezclar combustibles de origen fósil y etanol se basa en el supuesto de que el etanol provendrá única y exclusivamente de caña de azúcar, pues como señala INE, (2011), éste es el único con el que se obtienen ahorros en emisiones, independientemente de la técnica de cultivo que se utilice. Señala, además, que la reducción de emisiones de CO₂ de etanol producido a partir de maíz o sorgo, respecto de la gasolina es negativa, por lo que indica “es más conveniente en términos ambientales seguir consumiendo gasolina, que promover la producción de biocombustibles con las técnicas de producción utilizadas actualmente en México debido a que tienen más emisiones y un valor energético negativo”.

De acuerdo con los datos anteriores, producto de una política pública es posible plantear el volumen de combustibles fósiles a sustituir, además de la disminución esperada en emisiones contaminantes como se observa en las tablas 9 y 10.

TABLA 9. BALANCE DE EMISIONES Y RELACIÓN ENERGÉTICA DE PRODUCCIÓN DE ETANOL CON DIFERENTES TECNOLOGÍAS E INSUMOS RESPECTO DE LA GASOLINA CONVENCIONAL

Variables	Maíz			Sorgo			Caña de Azúcar		
	Promedio Nacional	Método Tradicional	Método Moderno	Promedio Nacional	Método Tradicional	Método Moderno	Promedio Nacional	Método Tradicional	Método Moderno
Balance neto de emisiones de CO ₂ , respecto a gasolina	17	-23	-7.6	-6	-50	5.3	-44.7	-51.4	-53.1
Relación energética respecto a la gasolina	0.93	0.82	1.05	0.93	1.28	1.07	3.01	2.74	2.61

FUENTE: Elaboración propia con información (INE, 2011).

Como se observa en la tabla 9, con las técnicas de producción promedio a nivel nacional se obtendría una disminución de 44.7% de emisiones de CO₂ respecto al generado por las gasolinas, por lo cual el monto de emisiones evitadas conociendo que la proporción a sustituir de combustibles

fósiles será del 6.0% del total, entonces la proporción de emisiones evitadas por la introducción de bioetanol será de 2.76% del total estimado en la tabla 7 para la ZMVM como se observa en la tabla 10.

TABLA 10. ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE BIOETANOL Y DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Año	Estimación de consumo de combustibles fósiles (Millones de litros) (A)	Estimación de consumo de etanol (Millones de litros) (B)	Estimación de consumo total de combustibles vehiculares (Millones de litros) (C) = (A) + (B)	Estimación de emisiones contaminantes producto de combustibles vehiculares (Millones de toneladas)	Estimación de emisiones contaminantes evitadas producto de biocombustibles (Miles de toneladas)
2012	12,067.5	332.6	12,400.1	2,124.7	58.6
2013	12,296.8	338.9	12,635.7	2,165.1	59.7
2014	12,530.4	345.3	12,875.8	2,206.2	60.8
2015	12,768.5	351.9	13,120.4	2,248.1	62.0
2016	13,011.1	358.6	13,369.7	2,290.8	63.1
2017	13,258.3	365.4	13,623.7	2,334.4	64.3
2018	13,510.2	372.3	13,882.6	2,378.7	65.6
2019	13,766.9	379.4	14,146.3	2,423.9	66.8
2020	14,028.5	386.6	14,415.1	2,470.0	68.1
2021	14,295.0	394.0	14,689.0	2,516.9	69.4
2022	14,566.6	401.4	14,968.1	2,564.7	70.7
2023	14,843.4	409.1	15,252.5	2,613.5	72.0
2024	15,125.4	416.8	15,542.3	2,663.1	73.4
2025	15,412.8	424.8	15,837.6	2,713.7	74.8
2026	15,705.7	432.8	16,138.5	2,765.3	76.2
2027	16,004.1	441.1	16,445.1	2,817.8	77.7
2028	16,308.1	449.4	16,757.6	2,871.3	79.1
2029	16,618.0	458.0	17,076.0	2,925.9	80.6
2030	16,933.7	466.7	17,400.4	2,981.5	82.2
2031	17,255.5	475.5	17,731.0	3,038.1	83.7
2032	17,583.3	484.6	18,067.9	3,095.9	85.3

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 10 se puede observar que si bien la disminución de combustibles fósiles por la introducción de biocombustibles es del 6.0%, la reducción en la contaminación es únicamente del 2.76% derivado de que el proceso de producción de biocombustibles también genera externalidades.

En cuanto a los precios de producción de bioetanol con caña de azúcar (que ha mostrado los mejores rendimientos ambientales y energéticos), la SENER y la SAGARPA plantean que el costo

promedio de producción sería de 0.45 centavos de dólar, lo que equivale, con un precio promedio de 12 pesos por dólar a 5.4 pesos como se muestra en la tabla 11.

TABLA 11. COSTO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (DÓLARES)

Variables	Costos de producción de Bioetanol			
	Jugo de caña directo	Melazas B	Melazas C	Promedio
Materia prima	0.27	0.21	0.26	0.25
Inversiones	0.10	0.09	0.09	0.09
Energía	0.00	0.00	0.00	0.00
Otros	0.06	0.21	0.06	0.11
Total	0.43	0.52	0.40	0.45

FUENTE: Elaboración propia, con información de (SAGARPA, 2011).

Es importante destacar que el precio de 5.9 pesos por litro de bioetanol producido a base de caña de azúcar presenta varios problemas, ya que como indica la propia SAGARPA (2011), existe un precio de indiferencia en el cual un productor de caña de azúcar puede definir que le conviene producir “azúcar o bioetanol”.

Por lo anterior si cada litro de bioetanol equivale a 1.67 kilos de azúcar; tomando en cuenta que el precio promedio de la azúcar en México durante el año 2012 fue de 13.4 pesos, un productor de azúcar puede obtener 22.5 pesos con la misma materia prima que obtendría 5.9 pesos produciendo etanol de acuerdo a la cotización de los mercados internacionales, lo que arroja un diferencial de 16.6 pesos, por lo tanto, para el industrial de la caña de azúcar que desea producir azúcar es más redituable que producir bioetanol.

Resulta relevante mencionar que el diferencial entre los ingresos obtenidos por los productores de caña de azúcar al destinar su producción a la generación de bioetanol, azúcar o alcoholes, tendría que ser cubierto por el Estado bajo la forma de un subsidio, con lo cual el costo social de los biocombustibles no ayudaría a cambiar el patrón de consumo de combustibles fósiles, como se muestra en la tabla 12.

De lo anterior se deduce que en la política de biocombustibles existente en México, no se contempla un factor de eficiencia tecnológica que permita disminuir los costos de producción de los biocombustibles; además se dice que el costo de los biocombustibles está estrechamente ligado al

de los combustibles fósiles y bajo ningún escenario se espera que los biocombustibles puedan sustituir en su totalidad a los combustibles de origen fósil.

Además, la producción de biocombustibles cuenta con la limitante de la tierra cultivable disponible para la producción de las materias primas, y del llamado precio de indiferencia, por lo que el costo social de los combustibles fósiles incluye, no sólo el precio de mercado de dichos combustibles, sino el diferencial de precio representado en el precio de indiferencia, por tanto este precio de indiferencia se incluye en el costo social dado que los biocombustibles únicamente serían un complemento y no un sustituto a los combustibles de origen fósil, como se muestra en la tabla 12.

TABLA 12. COSTO SOCIAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM 2012

Año	Precio de mercado de los biocombustibles (A)	Precio de indiferencia de los biocombustibles (B)	Costo estimado de las externalidades generadas por los biocombustibles (C)	Costo estimado de las externalidades de los combustibles fósiles (D)	Costo social estimado de los biocombustibles (E) = (A)+(B)+(C)-(D)
2012	5.90	16.6	5.96	4.82	23.64

FUENTE: Elaboración propia.

De la tabla 12, se observa que el costo social de la utilización de combustibles de origen fósil es de 23.64 pesos, cifra 10.5% mayor que los 21.4 pesos equivalentes al costo social de los combustibles de origen fósil. Es importante mencionar que la utilización de biocombustibles se espera mantenga una proporción de 6.0% del consumo de combustibles fósiles ya que estos se mezclarán, por lo que no se realizará una proyección independiente de consumo de biocombustibles y para este análisis se utilizará la misma que se construyó para los combustibles fósiles. Asimismo, es importante señalar que socialmente no resulta rentable la utilización de biocombustibles.

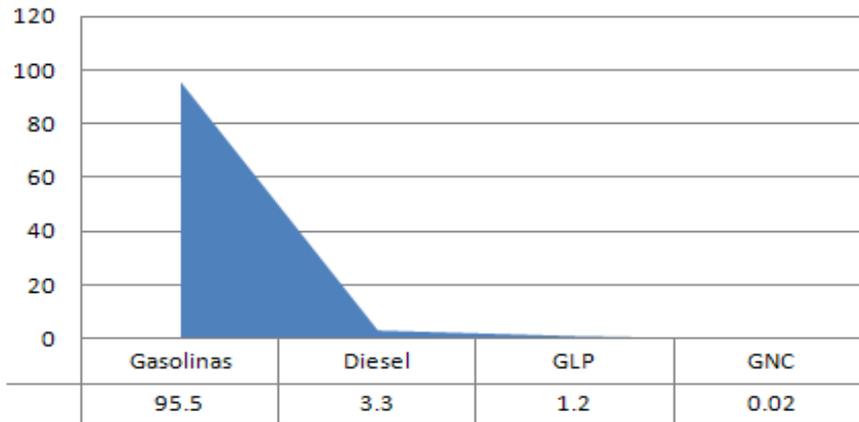
4.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS COSTOS SOCIALES DE LA UTILIZACIÓN DE HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM

Para el análisis de la utilización del hidrógeno como combustible vehicular en la ZMVM, tomando en cuenta que no existe ningún proyecto elaborado actualmente, se asume que en algún momento el gobierno local planteará e impulsará una política de utilización del gas hidrógeno como combustible vehicular y comenzarán por sus propias unidades.

Lo anterior es básico para el análisis de la determinación del costo social, ya que para los casos de los combustibles fósiles y biocombustibles se tienen estimado el pronóstico de oferta y demanda de dichos combustibles y por tanto se pudo estimar los valores totales del costo social de su utilización y de sus externalidades respectivas.

Para comenzar con este apartado en la gráfica 3, se muestra la participación del parque vehicular en México según tipo de combustible.

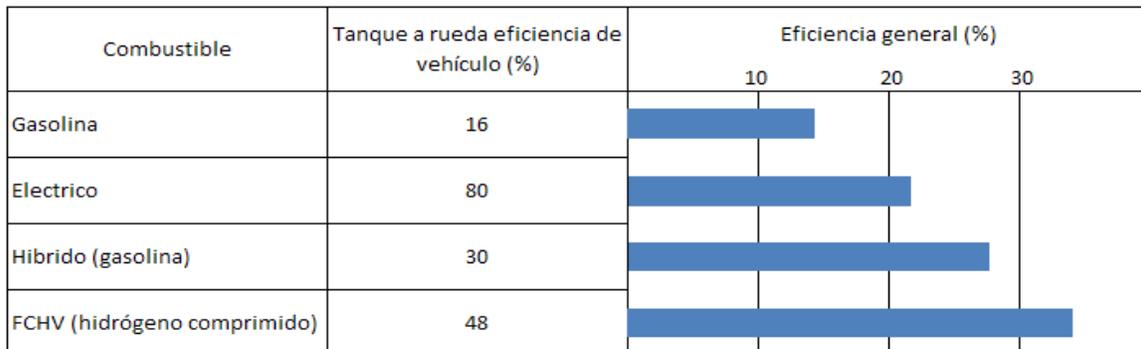
GRÁFICA 3. PARTICIPACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR POR TIPO DE COMBUSTIBLE EN MÉXICO



FUENTE: (SENER, 2006)

Como se observa en la gráfica 3, no existe un parque vehicular en México impulsado por celdas de hidrógeno, no obstante de acuerdo con la SENER en cuanto a eficiencia promedio por tipo de combustible, el hidrogeno tiene una eficiencia 3 veces superior al de la gasolina como se observa en la gráfica 4.

GRÁFICA 4. EFICIENCIA GENERAL EN VEHÍCULOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE



FUENTE: (SENER, 2006)

FCHV: Vehículos Híbridos de Celdas de Combustibles

Debido a lo anterior, consideramos importante señalar la evolución de la producción nacional de hidrógeno como se muestra en la tabla 13.

TABLA 13. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE HIDRÓGENO, (2012)

Periodo	Volumen (Metros cúbicos)	Costo (pesos a precios corrientes)	Costo unitario por metro cubico (pesos a precios corrientes)
1994	455.0	858.0	1.9
1995	522.0	1,459.0	2.8
1996	555.0	2,183.0	3.9
1997	748.0	2,982.0	4.0
1998	1,052.0	5,344.0	5.1
1999	1,184.0	4,680.0	4.0
2000	958.0	4,751.0	5.0
2001	802.0	3,779.0	4.7
2002	933.0	4,607.0	4.9
2003	863.0	5,071.0	5.9
2004	731.0	4,437.0	6.1
2005	773.0	5,859.0	7.6
2006	730.0	6,370.0	8.7
2007	777.8	6,479.9	8.3
2008	705.4	8,104.3	11.5
2009	744.0	8,858.9	11.9
2010	864.8	11,464.1	13.3
2011	750.0	10,345.0	13.8
2012	772.4	10,653.6	14.2

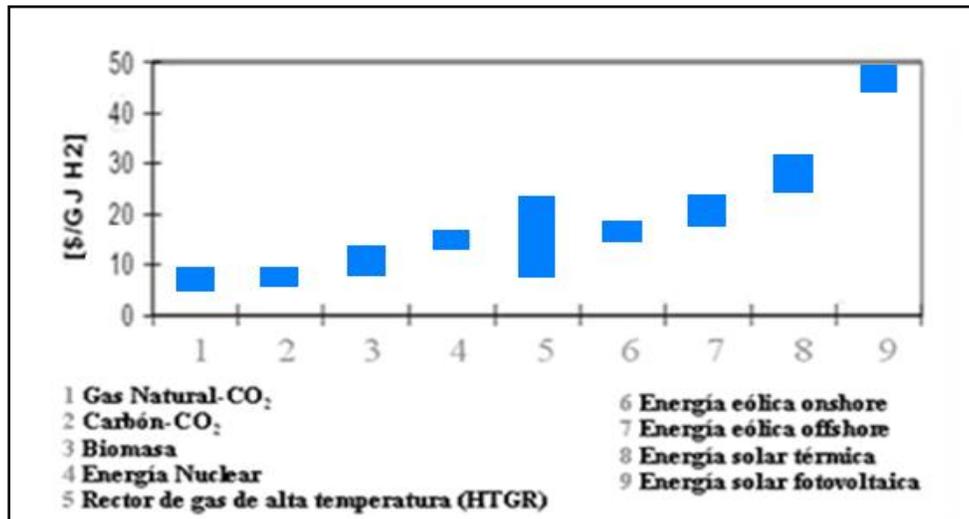
FUENTE: Elaboración propia con datos del INEGI, Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM), Volumen y valor de producción por clase de actividad y producto, Hidrógeno.

Al respecto, es importante mencionar que un metro cúbico equivale a nivel del mar a un kilogramo, el cual es semejante en poder energético a un galón de gasolina (IEA, 2006).

Actualmente, la forma más rentable de producir hidrógeno es la reformación de vapor, según el Department of Energy de los Estados Unidos, el costo fue de US\$ 7,00 por “gigajoule”^{2/} (GJ) en grandes plantas de producción (Clean Air, 2009)

^{2/} Un gigajoule equivale a 277,8 Kilowatt-hora

GRÁFICA 5. COSTO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO SEGÚN MÉTODO DE PRODUCCIÓN



FUENTE: International Energy Agency (IEA, 2006).

La gráfica 5, muestra las diferencias en los precios que existen actualmente para producir hidrógeno según tipo de tecnología aplicada. De acuerdo con Clean Air (2009), esto supone un costo para el gas natural de US\$ 2,300 por gigajoule, la producción de hidrógeno por electrólisis usando costos de hidroelectricidad oscila entre los US\$ 10,000 a US\$ 20,000 por gigajoule."

En la tabla 14, se presentan las estimaciones de los precios para producir hidrógeno según fuente primaria de obtención de acuerdo con estimaciones de Clean Air (2009), excluyendo impuestos:

TABLA 14. 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:(Clean Air, 2009).

Como podemos observar, atendiendo a razones puramente económicas la producción de hidrógeno con base en energías renovables en este momento no es económicamente 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 petrolero, lo que inevitablemente conducirá a un incremento de los precios de los hidrocarburos.

En México actualmente la forma más económica de producir hidrógeno es con la utilización de gas natural, ya que por el momento nuestro país no cuenta con la infraestructura necesaria para producir hidrógeno con base en energías renovables, pero existen posibilidades respecto a su generación mediante energía eólica.

Al respecto, se realizó una estimación del costo que tendría una planta de generación de hidrógeno la cual serviría para abastecer a los vehículos que utilicen celdas de combustible. Sin embargo, para la realización de este estudio y dado que no se tomarán precios de mercado, el análisis se realizará respecto de los costos sociales, por lo que el cálculo se efectuará a partir del supuesto de la generación de hidrógeno con base en gas natural, a continuación se describen los costos a tomar en cuenta en este cálculo.

Para instalar una planta de generación de hidrógeno, se realizó un sondeo respecto de las tecnologías disponibles y se encontró que la empresa "PRAXAIR", cuenta con una opción bastante aceptable que presenta ventajas importantes con respecto al suministro que PEMEX hace del hidrógeno, 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 ^{3/}. El costo aproximado de la planta es de 2 millones de pesos y su funcionamiento es a base de gas natural ^{4/} con una eficiencia de entre 70.0% y 90.0%^{5/}.

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).

^{3/} Datos obtenidos directamente de la empresa PRAXAIR mediante cotización, el día 10 de abril de 2011.

^{4/} 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 carbono e hidrógeno. Su fórmula química es CH₄ que significa que cada molécula de metano contiene un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno.

^{5/} 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, identificaremos los costos de producir hidrógeno mediante la planta generadora de hidrógeno, con el fin de determinar el costo social del gas hidrógeno como combustible vehicular:

TABLA 15. COSTO DE PRODUCIR HIDRÓGENO MEDIANTE LA PLANTA HGS DE PRAXAIR, AL AÑO 2012

Costo de general un metro cúbico de hidrógeno				Precio de un galón de gasolina Magna ^{4/}	Razón de precios hidrógeno/gasolina
Volumen de gas natural requerido ^{1/}	Precio del gas natural ^{2/}	Precio de la electricidad requerida ^{3/}	Total		
1.11	56.5	1.42	59.19	34.45	1.72

FUENTE: Elaboración propia con datos de (PRAXAIR, 2011), (INEGI, 2011) y (CFE, 2012).

- ^{1/}: Si asumimos una eficiencia del 90.0% requerimos 1.11 metros cúbicos de gas natural para producir un metro cúbico de hidrógeno.
- ^{2/}: Corresponde al precio promedio del metro cúbico de gas natural del año 2011 y el primer semestre de 2012, el cual fue de 1.60 pesos por pie cúbico, conociendo que un metro cubico equivale a 35,3148 pies cúbicos, obtenemos un precio de 56.5 pesos por pie cúbico de gas natural.
- ^{3/}: Se obtuvo del promedio de la tarifa 6 para servicios públicos, publicado por la Comisión Federal de Electricidad para el año 2012, por kilowatt hora, así que multiplicando esto por el consumo obtenemos un costo de \$1,420.0 pesos, este costo dividido entre 1,000 ya que es la producción que la planta puede generar en una hora no resulta en un costo unitario de \$1.42 pesos.
- ^{4/}: Un metro cúbico de hidrógeno equivale a un galón de gasolina (3.786 litros).

De la tabla anterior se observa que al tomar en cuenta únicamente precios de mercado, el combustible hidrógeno resulta 1.72 veces más costoso que la gasolina, razón por la que este quedaría fuera en cualquier análisis económico, no obstante si incluimos las externalidades generadas tanto por el hidrógeno como por los hidrocarburos, la relación se modifica como se muestra a continuación.

Primeramente debemos asumir que no es posible generar hidrógeno únicamente con energías renovables, por lo que se requiere la utilización de gas natural, razón por la cual la disminución en las emisiones contaminantes con respecto a los combustibles fósiles alcanza únicamente 35.0% en promedio de acuerdo con la Secretaría de Estado de Energía del Gobierno de España 2010, en el documento “Primer Vehículo Cero Emisiones”, se indica que en caso de que la producción de hidrógeno se pudiera hacer con fuentes renovables estas podrían disminuir hasta un 95.0% del total de emisiones contaminantes generadas por el sector transporte con base en hidrocarburos, como se muestra en la tabla 16.

TABLA 16. COSTO SOCIAL DEL GAS HIDRÓGENO BAJO DIFERENTES FORMAS DE PRODUCCIÓN.

Precio del metro cúbico de gas hidrógeno ^{1/}	Costo social del metro cúbico de gas hidrógeno (gas natural) ^{2/}	Costo social del gas hidrógeno (producido con energías renovables) ^{3/}	Costo social de un galón de gasolina ^{4/}	Relación Hidrógeno / Gasolina	
				Gas Natural	Energías Renovables
59.19	71.41	22.53	81.02	0.88	0.28

FUENTE: Elaboración propia con datos de la tabla 15 y de la Secretaría de Estado Energía del Gobierno Español.

^{1/}: Si asumimos una eficiencia del 90% requerimos 1.11 metros cúbicos de gas natural para producir un metro cúbico de hidrógeno.

^{2/}: Corresponde al precio por metro cúbico calculado de gas hidrógeno determinado en la tabla 15 y en el que se agrega el valor del 65.0% de las externalidades generadas por los combustibles fósiles, debido a que bajo esta forma de producir hidrógeno únicamente se logra disminuir el 35.0% de las emisiones contaminantes de los hidrocarburos y por tanto de sus externalidades.

^{3/}: Corresponde al precio por metro cúbico calculado de gas hidrógeno determinado en la tabla 15, al que se resta el valor del 95.0% de las externalidades generadas por los combustibles fósiles, y se suma el valor del 5.0% de las externalidades generadas por los hidrocarburos.

^{4/}: Un metro cúbico de hidrógeno equivale a un galón de gasolina (3.786 litros), por lo que se multiplica por el precio de 21.4 determinado en el apartado de identificación del costo social de los combustibles fósiles.

De la tabla anterior se puede observar que el costo social del combustible hidrógeno es competitivo frente a los hidrocarburos únicamente si estos se producen a través de energías renovables, debido a los costos extras derivados de un mayor costo en tecnología para los vehículos de celdas de combustible, sin embargo en la tabla 16, se observa que el costo social del hidrógeno en relación con la gasolina, sin incluir los costos de los vehículos, es de 0.95 lo que implica que el costo social del combustible hidrógeno es 12.0% menor que el de los hidrocarburos.

No obstante debemos recordar que de acuerdo con el programa “Hydrogen Fuel Initiative” durante la última década se ha reducido el precio de la tecnología para producir hidrógeno y celdas de combustible en aproximadamente 25.0% cada 4 años, lo cual nos da una tasa de avance tecnológico promedio de 7.7%.

Además, debemos asumir que las externalidades calculadas por el consumo de combustibles fósil incluyen una elevada proporción derivada de la utilización de estos combustibles, pero sobre todo por el modelo de desarrollo que nos impulsa a la masificación en el uso de automóviles, lo cual impacta directamente en el tiempo promedio perdido en el tráfico. Asimismo, es necesario entender que las externalidades calculadas por el consumo de combustibles fósiles incluyen una elevada proporción derivada del modelo de desarrollo que nos impulsa a la masificación en el uso de automóviles, lo cual impacta directamente en el tiempo promedio perdido en el tráfico.

Al respecto, 119,500.0 millones de pesos, que representan el 93.0% de los 128,434.7 millones de pesos que corresponden al valor total anual de las externalidades generadas en la ZMVM producto de la utilización de combustibles fósiles, tienen como causa el modelo de desarrollo actual que impulsa la masificación del uso del automóvil particular, principalmente por las distancias entre los centros de vivienda y de trabajo, así como por las deficiencias en los sistemas de transporte público.

Por lo anterior, en la tabla 17 se presenta una estimación ajustada de la realizada en la tabla 16 en la que se suman a los costos sociales de producción del gas hidrógeno el 93.0% de las externalidades fósiles, ya que la sustitución de combustibles no garantiza la eliminación del tráfico vehicular y con esto del mayor costo incluido en las externalidades.

TABLA 17. COSTO SOCIAL DEL GAS HIDRÓGENO BAJO DIFERENTES FORMAS DE PRODUCCIÓN.

Precio del metro cúbico de gas hidrógeno ^{1/}	Costo social del metro cúbico de gas hidrógeno (gas natural) ^{2/}	Costo social del gas hidrógeno (producido con energías renovables) ^{3/}	Costo social de un galón de gasolina ^{4/}	Relación Hidrógeno / Gasolina	
				Gas Natural	Energías Renovables
59.19	98.86	98.00	81.02	1.22	1.21

FUENTE: Elaboración propia con datos de la tabla 15 y de la Secretaría de Estado Energía del Gobierno Español.

- ^{1/}: Si asumimos una eficiencia del 90% requerimos 1.11 metros cúbicos de gas natural para producir un metro cúbico de hidrógeno.
- ^{2/}: Corresponde al precio por metro cúbico calculado de gas hidrógeno determinado en la tabla 15 y en el que se agrega el valor del 65.0% de las externalidades generadas por los combustibles fósiles, referentes a: aproximadamente 4,000 muertes prematuras anuales, atribuidas a la contaminación atmosférica, y a la pérdida de 2.5 millones de días de trabajo por enfermedades relacionadas con la contaminación, debido a que bajo esta forma de producir hidrógeno únicamente se logra disminuir el 35.0% de las emisiones contaminantes de los hidrocarburos y por tanto de sus externalidades. Asimismo se incluye en el cálculo costos económicos anuales a causa del tiempo perdido en tráfico (viaje promedio hogar-casa-hogar = 2.5 hrs).
- ^{3/}: Corresponde al precio por metro cúbico calculado de gas hidrógeno determinado en la tabla 15, al que se resta el valor del 95.0% de las externalidades generadas por los combustibles fósiles, y se suma el valor del 5.0% de las externalidades generadas por los hidrocarburos.
- ^{4/}: Un metro cúbico de hidrógeno equivale a un galón de gasolina (3.786 litros), por lo que se multiplica por el precio de 21.4 determinado en el apartado de identificación del costo social de los combustibles fósiles.

Del análisis de la tabla 17 podemos concluir que el costo social del combustible hidrógeno si se incluye el costo de los costos económicos anuales a causa del tiempo perdido en tráfico (viaje promedio hogar-casa-hogar = 2.5 hrs) no es competitivo frente a los hidrocarburos, aún sin incluir el costo de la tecnología para los vehículos de celdas de combustible, ya que sin considerar los costos de los vehículos la relación precio social hidrógeno vs gasolina es de 1.22 lo que implica que el costo social del combustible hidrógeno es 22.0% mayor que el de los hidrocarburos.

No obstante debemos recordar que de acuerdo con el programa “Hydrogen Fuel Initiative” durante la última década se ha reducido el precio de la tecnología para producir hidrógeno y celdas de combustible en aproximadamente 25.0% cada 4 años, lo cual nos da una tasa de avance tecnológico promedio de 7.7%.

TABLA 18. PROYECCIÓN DEL COSTO SOCIAL DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLE HIDRÓGENO PARA LA ZMVM, (LITROS EQUIVALENTES)

Año	Estimación del precio de mercado del gas hidrógeno (A)	Porcentaje anual de disminución de costos de producción (B)	Estimación del costo de las externalidades generadas por la utilización de gas natural (C)	Estimación del costo de las externalidades de combustibles fósiles evitadas (D)	Estimación del Costo Social (E) = (A) - ((A)* (B)) + (C) - (D)
2012	15.6	7.7	11.58	1.11	26.11
2013	14.4	7.7	11.74	1.12	25.05
2014	13.3	7.7	11.91	1.14	24.09
2015	12.3	7.7	12.08	1.16	23.21
2016	11.3	7.7	12.25	1.18	22.42
2017	10.5	7.7	12.42	1.20	21.70
2018	9.7	7.7	12.60	1.22	21.05
2019	8.9	7.7	12.78	1.23	20.46
2020	8.2	7.7	12.96	1.25	19.94
2021	7.6	7.7	13.14	1.27	19.47
2022	7.0	7.7	13.33	1.29	19.05
2023	6.5	7.7	13.52	1.31	18.68
2024	6.0	7.7	13.71	1.33	18.35
2025	5.5	7.7	13.90	1.36	18.06
2026	5.1	7.7	14.10	1.38	17.81
2027	4.7	7.7	14.30	1.40	17.60
2028	4.3	7.7	14.50	1.42	17.42
2029	4.0	7.7	14.71	1.44	17.27
2030	3.7	7.7	14.91	1.47	17.14
2031	3.4	7.7	15.12	1.49	17.05
2032	3.1	7.7	15.34	1.51	16.97

FUENTE: Elaboración propia.

- A: Con el dato de consumo de 2010 y el estimado de disminución en precios de 7.7% anual se proyecta el consumo hasta el año 2030.
- B: Tomando como referencia la TMCA de 7.7 observada durante el periodo 2000-2010, de acuerdo al programa Hydrogen Fuel Initiative.
- C: Se obtuvo del costo unitario del valor de las externalidades presentadas en la tabla 7 y la proporción correspondiente a 65.0% producto de la utilización de gas natural.
- D: Se obtuvo del costo unitario del valor de las externalidades presentadas en la tabla 7 y la proporción correspondiente a 35.0% producto de la utilización de gas natural.

De acuerdo con las estimaciones presentadas en la tabla 18, al considerar únicamente los costos sociales de la utilización del combustible hidrógeno sin incluir el costo de los vehículos este combustible presenta expectativas favorables para su implementación masiva en la ZMVM.

Asimismo, es necesario aclarar que el motivo de esta investigación es únicamente la determinación de los costos sociales de los combustibles y no de los vehículos dado que en estos existe un gran variedad y sus precios son directamente influenciados por las políticas públicas, por tanto sus precios de mercado no son elementos suficientes para poder deducir sus costos sociales y agregar esto a los cálculos realizados en este apartado.

4.5. VALORACIÓN SOCIAL DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL VS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN EL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZMVM INCLUYENDO EL VALOR TOTAL DE LAS EXTERNALIDADES

En este apartado se presentan las proyecciones esperadas respecto del consumo de combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México, con el objeto de definir cuál de estos realmente maximiza la utilidad social. Mediante la solución de las razones e igualdades planteadas al inicio de este capítulo.

Actualmente los precios de mercado de los combustibles fósiles, los cuales no incluyen el costo de las externalidades y las limitantes técnicas de producción de los combustibles alternativos, biocombustibles e hidrógeno son un elemento fundamental para que no exista una competencia real para los hidrocarburos como combustibles en el sector transporte.

Al respecto en la tabla 19, se muestran los precios de mercado y costos sociales obtenidos en esta investigación para cada combustible.

TABLA 19. VALOR DE LAS EXTERNALIDADES, DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES, BIOCOMBUSTIBLES, E HIDRÓGENO, COMO PROPORCIÓN DEL COSTO SOCIAL.

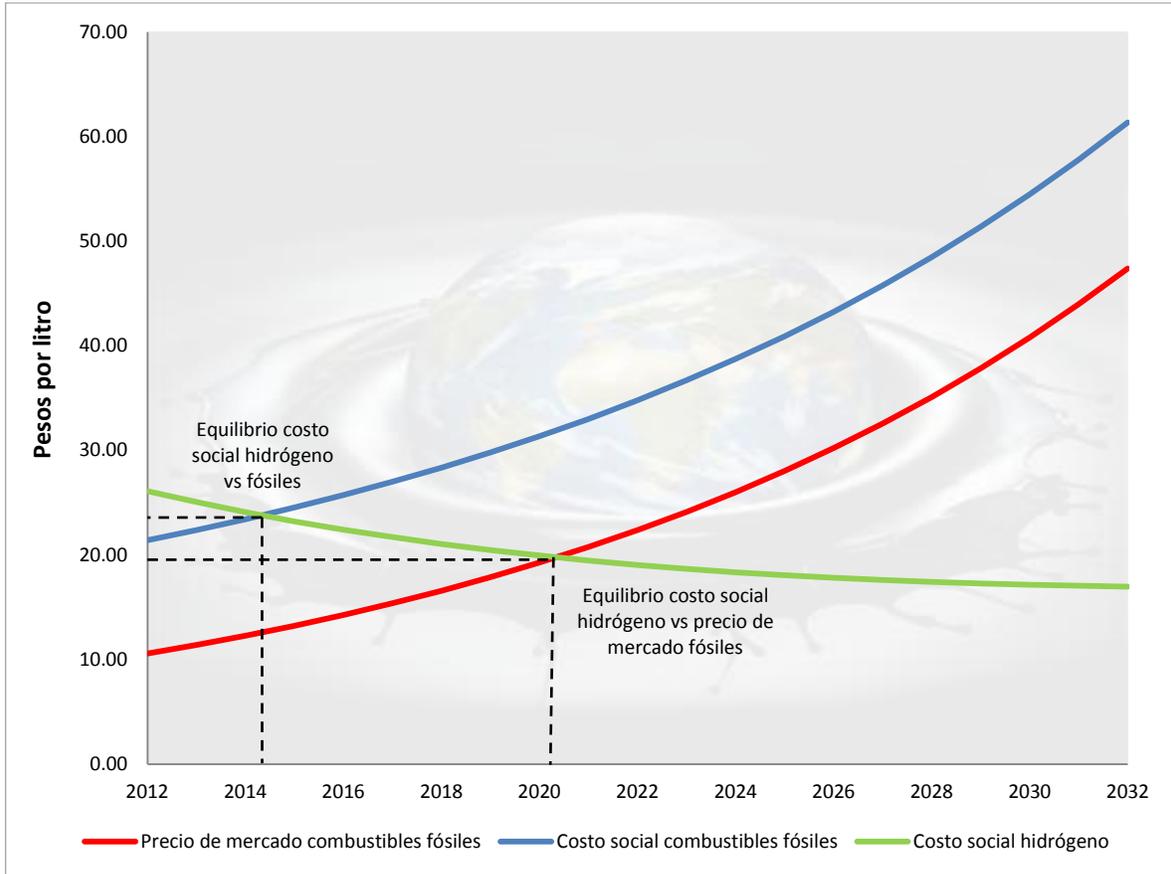
Variables	Combustibles Fósiles	Biocombustibles	Hidrógeno
Precios de mercado	10.66	5.90	15.60
Costo de las externalidades	10.74	17.74	10.51
Costos Sociales	21.4	23.64	26.11
Valor de las externalidades como proporción del costo social	0.50	0.75	0.40
Valor de las externalidades como proporción del precio de mercado	1.01	3.01	0.67

FUENTE: Elaboración propia.

De la tabla anterior se observa que el valor de las externalidades netas generadas por tipo de combustible analizado es mayor para los biocombustibles con 75.0% del costo social, además para el caso de los combustibles fosiles el 50.0% del costo social corresponde al valor de las externalidades, en este aspecto destaca el hidrógeno al ser el que presenta la menor proporción entre el valor de las externalidades netas al representar estas el 40.0% del costo social de dicho combustible.

Como se mencionó en el apartado correspondiente, los biocombustibles no presentan una verdadera opción para la disminución de los efectos negativos de la utilización de combustibles fosiles y pese a que su implementación obedecerá a factores políticos estos no son un elemento de bienestar economico, ni social, por lo que a continuación se presenta una gráfica en la que se identifica el punto temporal en el que se igualará el costo social de los combustibles fosiles con el hidrógeno.

GRÁFICA 6. PROYECCIÓN DEL COSTO SOCIAL Y DE MERCADO DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES RESPECTO DEL COSTO SOCIAL DEL HIDRÓGENO.



FUENTE: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se observa el punto temporal a partir del cual se igualaran el costo social del hidrógeno y el precio de mercado de los combustibles de origen fósil, dicho punto se ubica alrededor de los años 2014 y 2020, es importante señalar que la comparación con los precios de mercado se hace para demostrar su rentabilidad, la cual en costos sociales estaba demostrada pese al diferencial de precios de mercado.

Es importante señalar que aún y cuando se ha hecho el descuento de la proporción justa de las externalidades que puede disminuir el uso del combustible hidrógeno, la tasa de avance tecnológico, así como las expectativas de la escases relativa en el precio de los combustibles fósiles generan la posibilidad de la utilización masiva de ese combustible en aproximadamente una década de continuar con las tendencias presentadas en este trabajo.

4.6. CONCLUSIONES.

Respecto de los principales resultados de la investigación se determinó el costo social para los combustibles analizados los cuales son los siguientes: a) el costo social de los combustibles de origen fósiles para el año 2012 fue de 21.4 pesos por litro, b) mientras que el de los biocombustibles fue de aproximadamente 23.64 pesos por litros y para el hidrógeno de aproximadamente 26.11 pesos por litro equivalente.

Asimismo, se comprobó que en el mediano y largo plazo el costo de evitado de externalidades de origen fósil al utilizar combustibles alternativos es superior al diferencial de precios de mercado del combustible hidrógeno respecto del precio de los combustibles de origen fósil.

Por lo anterior se acepta la hipótesis de trabajo de esta investigación. “Los costos evitados de las externalidades generadas por el consumo de combustibles de origen fósil en el sector transporte son superiores a la diferencia de los precios de mercado de los combustibles convencionales respecto de los combustibles alternativos”, con la salvedad de que únicamente el combustible hidrógeno puede ser una opción viable, pero en el mediano y largo plazo, dado que actualmente no es económicamente rentable su utilización, mientras que los biocombustibles no parecen una opción viable de ninguna forma, y no son socialmente rentables.

Además, la investigación mostró que el análisis económico del medio ambiente implica reconocer que las actividades económicas son capaces de generar efectos no cuantificados en los precios que se pagan por los bienes y servicios (precio privado), el costo de éstos efectos dentro de la teoría económica es denominado externalidades, y la suma del precio o costo privado más el costo de las externalidades es definido como el costo social.

Derivado de lo anterior la reducción de la contaminación bajo su forma de externalidad tiene que pasar por el mercado y, si bien existe la limitante de la falta de regulación y de derechos sobre los bienes y servicios ambientales, lo que provoca una tragedia de los comunes y un agotamiento de los recursos naturales, el avance tecnológico se convierte en el elemento fundamental para alcanzar la disminución de la contaminación y ofrece expectativas positivas sobre la sustitución de recursos no renovables como es el caso de la energía de origen fósil.

En cuanto a los efectos ambientales ocasionados por el consumo de energía fósil y la elevada proporción destinada al consumo al sector transporte, en un contexto de demanda creciente y de expectativas de declive de la oferta, lo que implica un incremento en el precio de dichos

combustibles, se genera un impulso para la implementación masiva de energías alternativas que puedan sustituir en alguna medida a los combustibles de origen fósil en el corto y mediano plazo.

No obstante con la investigación se comprobó que si bien existen políticas públicas en materia de energías renovables y mitigación de emisiones atmosféricas en el sector transporte a nivel nacional y local, no se presentan resultados sobre la disminución de emisiones, ni reducciones en el consumo de combustibles fósiles, razón por la cual se concluye que dichas políticas no han sido suficientes para alcanzar los objetivos que se plantearon.

Además, el trabajo abordó las posibilidades de implementación masiva de energéticos alternativos a los de origen fósil en el sector transporte de la ZMVM, conociendo los escenarios y particularidades que enfrenta cada uno de los combustibles analizados (hidrocarburos, hidrógeno y biocombustibles), identificando las externalidades generadas por cada uno de estos, con el objeto de identificar el costo social de estos combustibles.

La vinculación entre las actividades de transporte y el consumo de petróleo constituye uno de los retos políticos más relevantes en el ámbito de la planificación energética. El sector transporte plantea problemas locales (congestión, ocupación del territorio, problemas de seguridad) pero también algunos desafíos de carácter global (como el calentamiento global).

Al respecto planteamos tres reflexiones esenciales en torno al tema de los hidrocarburos en el sector transporte.

En primer lugar, desde la perspectiva del cambio climático, todo lo que tiene que ver con el transporte gira en torno al consumo masivo de combustible; hoy este combustible se obtiene de derivados del petróleo en un porcentaje abrumador. La dependencia energética del transporte causa buena parte de los problemas ambientales más graves tanto a escala local como global.

En segundo lugar, el sector transporte crece prácticamente en todos los países del mundo y, con él, la combustión de petróleo y las emisiones resultantes. Sin duda, el ejemplo paradigmático es China donde, a lo largo de la década de los noventa, se ha doblado el consumo de petróleo. Incluso en los países de la Unión Europea, donde los combustibles son altamente gravados y se desarrollan políticas de eficiencia en usos finales o se subsidia el transporte público, apenas se ha conseguido en promedio mantener los niveles de consumo de petróleo (en Alemania o Francia, incluso ha crecido).

Por último, la transición tampoco sería sencilla, ni rápida en este ámbito de nuestra reflexión. Tanto las infraestructuras de transporte como los propios vehículos están únicamente diseñados en torno al petróleo y a motores de combustión interna que emplean gasolina y diesel. Desde un punto de vista tecnológico, las alternativas (baterías eléctricas, gas natural comprimido, biocombustibles, biomasa de segunda generación, célula de combustible de hidrógeno, etc.) no serán viables a gran escala en el corto plazo. Incluso si dichas alternativas se probasen como rentables desde un punto de vista financiero, y los vehículos con combustibles alternativos comenzasen a producirse a gran escala, la infraestructura basada en el petróleo (yacimientos de petróleo, oleoductos, refinerías, etc.) no dejaría de ser altamente intensiva en capital y con largos periodos de amortización.

Además, es importante señalar que una de las principales conclusiones del trabajo, es que el 93.0% de las externalidades obedece al modelo de desarrollo que impulsa el crecimiento del número de vehículos automotores en circulación, por tanto el cambio de combustible no garantiza la reducción de las condiciones que generan la pérdida de tiempo en el traslado de las personas.

Si bien el combustible hidrógeno presenta posibilidades en el mediano y largo plazo, no basta con el cambio de combustible, se requiere una estrategia de transporte público eficiente que inhiba el crecimiento del parque vehicular y que muestre bondades a sus usuarios, a fin de permitir la reducción del costo social asociado al tráfico vehicular.

En conclusión, el modelo de desarrollo necesita de una intervención por parte de las autoridades que cuantifiquen el costo social de los vehículos y de sus efectos sobre el bienestar social, ahí la importancia de este tipo de análisis, el cual si bien no demostró que la inmediatez del cambio de combustible garantiza la reducción de las externalidades, sí mostró la importancia de estos análisis, al calcular el costo social de los combustibles fósiles, y de los biocombustibles y del hidrógeno permitiendo de esta manera estimar de manera óptima las decisiones políticas conducentes.

- BIBLIOGRAFÍA -

- AGUIAR.** (2008). *Eficiencia, sostenibilidad ambiental y equidad intergeneracional en los modelos de generaciones traslapadas: lecciones de política*. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros/>
- AGUILAR, D.** (2010). *Industria automotriz insistira en estímulos fiscales en 2011*: Publicado el día 13 de octubre de 2010, en el Universal. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx>
- ALVIAR, M. y GRANDA, C.** (2006). *La curva ambiental de Kutnetz para la calidad del agua: Un análisis de su validez mediante raíces unitarias y cointegración*. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net>
- ANSUATEGI, A. y ARTO, I.** (2004). *La evolución de la intensidad energética de la industria vasca entre 1982 y 2001: un análisis de descomposición*. Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 4, 7. (2004). pp. 63-91
- ARIAS, F.** (2006). *Desarrollo sostenible y sus indicadores*. En publicación: Documento de Trabajo no. 93. CIDSE, Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle, Cali: Colombia.
- ARVIZU.** (2004). *Cambio Climático una Visión desde México*, Registro histórico de los principales países emisores, INE, México.
- ASPO.** (2006). Association for the study of Peak Oil&Gas, *The Peak Oil*. Disponible en: <http://www.peakoil.net/publication-tags/peak-oil>
- BALDWIN, R.** (1995), 'Does sustainability require growth?' in *The Economics of Sustainable Development*, ed. I. Goldin and L.A. Winters, Cambridge University Press, Cambridge, UK. Disponible en: <http://books.google.com.mx>
- BALLESTER, F.** (1999). *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción*. Revista Española De Salud Pública 1999, Vol. 73, N°2. Disponible en: http://www.scielosp.org/pdf/resp/v73n2/efectos_contam.pdf
- BANCO MUNDIAL.** (2010): *México "Estudio sobre la Disminución de la emisiones de Carbono"*, Edición en castellano, ISBN 978-958-8307-75-6, Editorial Mayol Ediciones S.A.
- BANCO MUNDIAL.** (1992): *World development Report Development and the Environment*. World Bank, New York: Oxford University Press.

- BID, (2004).** Banco Interamericano de Desarrollo, *Valoración económica y ambiental aplicada a casos del manejo de la Calidad del Aire y Control de la Contaminación*, Informe para el Diálogo Regional de Política del Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/fulltext/valoracion.pdf>
- BUTLER, B.** (2010). The Great Rollover Juggernaut. World Oil Depletion and the Inevitable Crisis. Disponible en: <http://www.durangobill.com/RolloverPics>.
- CAMAGNI, R.** (2005). *Economía Urbana*. Editorial Antoni Boch. España.
- CANO, U.** (1999). *Las celdas de combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica*. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Disponible en: <http://www.iie.org.mx/reno99/apli.pdf>
- CAPÓ, J.** (2008). *Crecimiento Económico y Contaminación Atmosférica: Nueva evidencia a favor de la Curva de Kuznets Ambiental*. Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales. Palma de Mallorca del 4 al 6 de junio de 2008.
- CASS D.** (1965). *A Re-Examination of the Pure Consumption Loans Model*. Cowles Foundation Discussion Papers 195, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/1829152>.
- CEFP.** (2010). *El papel del mercado bursátil en el crecimiento económico de México*, Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Camara de Diputados, México D.F.
- CHANG, M.** (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable, Capítulo 6. La economía Ambiental*, Editorial Porrúa, México D.F. ISBN: 970-701-610-8.
- CLEAN AIR.** (2009). Protecting everyone's right to breathe clean air. Obtenida el 6 de enero de 2010 de <http://www.cleanair.org>
- COASE, R.** (1960), *The Problem of Social Cost*, This paper is from the Journal of Law and Economics (October 1960).
- COASE, R.** (1974). *The Market for Goods and the Market for Ideas* (in The Economics of the First Amendment) The American Economic Review, Vol. 64, No. 2, Papers and Proceedings of the Eighty-sixth Annual Meeting of the American Economic Association, (May 1974), pp. 384-391.
- CONAE.** (2004a). Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Ficha técnica de celdas de combustible enfocadas al transporte*. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx>

- CONAE.** (2004b). Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Que son las energías renovables*. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx>
- CONAE.** (2007). Comisión Nacional de Ahorro de Energía. *Biodiesel*. Diciembre de 2007. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/2/biodiesel.pdf>
- CONAE.** (2011). Comisión Nacional de Ahorro de Energía. *Información Energética*, Noviembre de 2011. Disponible en: <http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE>
- CONAPO.** (2005). Consejo Nacional de Población. *Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010*. Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx>
- COSTANZA, R.** (1994). Ecological economics is post autistics. *Post autistics review*, consultado en la revista electrónica Real-World Economics Review Formerly The Post-Autistic Economics Review, ISSN 1755-9472.
- COVARRUBIAS, G. F.** (2001). *Expansión de la zona metropolitana de la ciudad de México y acciones del gobierno estatal*. Disponible en: <http://www.iiec.unam.mx>
- CUERDO, M. y RAMOS J.** (1999). *Economía y naturaleza, editorial síntesis*. ISBN: 9788477387527, Madrid, España.
- DEPARTAMENT OF ENERGY.** (2007). *Hydrogen Fuel Initiative, Hydrogen Program*. Disponible en: http://www.hydrogen.energy.gov/h2_fuel_initiative.html
- DOF.** (2008). *Ley para la promoción de los bioenergéticos*. Publicada el día 1 de febrero de 2008 en el Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx>
- ECOPORTAL.** (2006). *Tema Especial: Cambio Climático*. Disponible en: <http://www.ecoportat.net>
- EIA.** (2010). U.S. Energy Information Administration. *Crude Oil Proved Reserves (Billion Barrels)*. Disponible en <http://www.eia.gov>
- EUROPEAN ENERGY FORUM.** (2003). *"European Hydrogen and Fuel Cell Technology"*, European Energy Forum, European Union. Disponible en: <http://www.europeanenergyforum.eu>
- FERNÁNDEZ, B.** (2001). *La contaminación del aire, cómo abatir este problema de salud, Aspectos de salud ambiental y situación general*. La Jornada. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>

- FLORES, N y CARSON, R.** (1995). "The Relationship Between the Income Elasticities of Demand and Willingness to Pay", *The Journal of Environmental Economics and Management* 33, 287]295_1997. Article no. Ee970998.
- GALE, D.** (1967). "On Optimal Development in a Multi-Sector Economy", *Review of Economic Studies*, Vol. 34, p.1-18. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/2296567>.
- GEO.** (2006). *Global Environment Outlook, Contaminación Atmósfera: América Latina y el Caribe*. Disponible en: <http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/384.html>
- GLYN, H.** (1999). *Ingeniería Ambiental*, 2° Edición, Editorial Prentice Hall, México.
- GÓMEZ, L.** (2006). *Pierden los capitalinos 5 años de su vida en embotellamientos de tránsito*. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>
- GONZALES, J.** (2005). *Crecimiento económico y desarrollo sustentable: el rol de los recursos naturales en la economía peruana*. Facultad de Economía-Universidad Nacional de Piura, Consorcio de Investigación Económica y Social, Concurso de Investigación CIES-ACDI-IDRC 2005.
- GONZÁLEZ, E. A.** (2003). *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). *México, principal fuente de emisión de gases de invernadero en AL y 14 en el mundo: BM*. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>
- GROSSMAN, G. y KRUEGER, A.** (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. National Bureau of Economic Research Working Paper 3914, NBER, Cambridge MA.
- GUTIEREZ, C.** (2009). *La actuación Frente al Cambio Climático*, Universidad de Murcia, España. Disponible en: <http://books.google.com.mx>
- HARDIN, G.** (1968). "The Tragedy of Commons" *Science*, V. 162 (1968), pp. 1243-1248. Disponible en: <http://jayhanson.us/page95.htm>

- HARTWICK, J.** (1977), *Intergenerational Equity and the Investment of Rents from Exhaustible Resources in a Two Sector Model*, Working Papers, Queen's University, Department of Economics.
- HOLDEL, J.** (1992). citado en HOWARTH R. B. y STEINER R. (1992) *Energy Efficiency and Human Activity*, Series: Cambridge Energy and Environment Series, ISBN: 9780521432979, Publication date: November 1992, Cambridge University Press.
- HOTELLING, H.** (1931). *The economics of exhaustible resources Reprinted from The Journal of Political Economy*, Vol. 39, pp. 137–175 (1931) with the permission of the University of Chicago Press.
- HUACUZ, J.** (2008). *Energías renovables: la reforma olvidada*. Revista Ciencia y Desarrollo, Vol. 34, no. 223, Septiembre 2008. Disponible en: <http://www.conacyt.mx>
- HURTADO, C.** (1992). *Los instrumentos económicos aplicados al ambiente*. Edit. INE. México. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx>
- IEA.** (2006), International Energy Agency, *World Energy Outlook 2006*. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006>.
- IEA.** (2007), International Energy Agency, *World Energy Outlook 2007*. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2007>.
- IEA.** (2010), International Energy Agency, *World Energy Outlook 2010*. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010>.
- IILSR.** (2004). Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, *Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética Sustentable para México*.
- IKFEE.** (2004). *Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien*, Conferencia Internacional de Energías Renovables de Boon Alemania. Disponible en: <http://www.bmu.de>
- INE.** (2004a). Instituto Nacional de Ecología. *Elaboración del programa de investigación en cambio climático*. Noviembre de 2004. Disponible en: <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*. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx>

- INE.** (2005). Instituto Nacional de Ecología. *Investigación sobre Calidad del Aire, Tendencias en ciudades mexicanas*. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx>
- INVI.** (2006). Instituto de Vivienda del Distrito Federal. *Programa General de Desarrollo del D.F.* Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- IPCC.** (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en <http://srren.ipcc-wg3.de/report>
- IRACHETA, C** (2003). *Gobernabilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Revista Papeles de Población pp. 211-239. México.
- JARDÓN, J.** (1995). *Energía y Medio Ambiente una perspectiva económica y social*. México D.F., Editorial Plaza y Valdez.
- KOOPMANS, T.** (1965). "On the Concept of Optimal Economic Growth", Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University, New Haven, Conn. U.S.A Cowles Foundation Paper 238, Reprinted from *Academiae Scientiarum Scripta Varia* 28, 1, 1965, Disponible en: <http://cowles.econ.yale.edu/P/cp/p02a/p0238.pdf>.
- KRISTROM, B. y RIERA, P.** (1996), "Is the income elasticity of environmental improvements less than one?" *Environmental Resource Economics*, Vol. 7, pag. 45-55, 1996.
- KUZNETS, S.** (1955). *Economic Growth and Income Inequality*, *The American Economic Review*, Vol. 45, No. 1. (Mar., 1955), pp. 1-28. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/1811581>.
- LEOPOLD, L.** (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. U.S. Geological Survey Circular 645, Washington, D.C. Disponible en: <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED053006.pdf>
- McCONNELL, K.** (1997). *Income and the demand for environmental quality*. *Environment and Development Economics*, 2: 383-399. Disponible en: <http://journals.cambridge.org>
- MIXUIERO, G.** (2007). *El principio de quien contamina paga: alcances y pendiente en la legislación mexicana*. Centro de Estudios Sociales y de Opinion Publica, Cámara de diputados. Documento de Trabajo No. 13, Marzo de 2007, México D.F.
- MOLINA, A.** (2005). *La importancia de los combustibles de ultra bajo azufre para México*. Disponible en: <http://www.centromariomolina.org>
- MYTELKA, L. Y GRANT, B.** (2008). *Making Choices about Hydrogen: Transport Issues for Developing Countries*, *UNU Press and IDRC, Tokyo and Ottawa*. Disponible en: <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/35673/1/127544.pdf>

- NADAL, A.** (2007). *Petróleo: del mal holandés a la transición energética*. Publicada el 27 de marzo de 2007. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>
- NATIONAL PETROLEUM COUNCIL,** (2007). *A comprehensive view to 2030 of global oil and natural gas*, Secretary of Energy, Washington, D.C. 20585.
- NAVARRETE, J.** (2008). *Seguridad energética, ¿para quién?*, Publicado en La Jornada, el día jueves 29 de mayo de 2008. Disponible en: <http://jornada.unam.mx>.
- ODÓN, R.** (2001). *Desarrollo de las energías renovables en México la perspectiva de la CONAE*, Secretaría de Energía, Comisión Nacional para el Ahorro de Energías, México 2001.
- OPTI.** (2007). Unión Europea. *The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*. Disponible en: http://ec.europa.eu/research/energy/eu/research/fch/index_en.htm
- PACHECO, C.** (1996). *La contaminación del aire en la ciudad de México*. Revista de Cultura Ecológica "ArcoRedes", año 3, No. 15, México, D.F.
- PAMPILLON, R.** (2007). *Externalidades Negativas en las emisiones de CO2*, Economy Weblog, Publicado el 11 de diciembre de 2007.
- PANIAGUA, A. y MOYANO, E.** (2009). *Desarrollo sostenible y escalas de sustentabilidad*. Revista Española de Investigaciones Sociológicas 1998, Centro de Investigaciones Sociológicas. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/40184124>.
- PAOT.** (2000). Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, *Valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire ZMVM*. Obtenida de <http://paot.org.mx>
- PEARCE, D. y ATKINSON G.** (1993), *Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability*, Ecological Economics, 8, issue 2, p. 103-108, <http://econpapers.repec.org/RePEc:eee:ecolec:v:8:y:1993:i:2:p:103-108>.
- PEARSON, C.** (1995). *El nexo entre comercio internacional y medio ambiente ¿Qué hay de nuevo desde 1972?*, en Comercio y Medio Ambiente, Derecho, Economía y Política, publicado por SEMARNAP. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx>
- PÉREZ, GRANDA, Y MUÑOZ.** (2008). *The Environmental Kuznetz Curve for Water Quality: An Analysis of Its Appropriateness Using Unit Root and Cointegration Tests*. Disponible en: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm>
- PEZZEY.** (1992). *"Sustainability: An Interdisciplinary Guide."* Environmental Values 1: 321-62. Disponible en <http://econpapers.repec.org/>.

PIGOU, A. (1920). *The Economics of Welfare* (4th ed.) (London: Macmillan, 1932). Disponible en: <http://oll.libertyfund.org/title/1410>.

PND 2007-2012. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*, Presidencia de la Republica. Disponible en: <http://pnd.presidencia.gob.mx/>

PNUMA. (1972). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. *Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente Humano*. Estocolomo: Organización de Naciones Unidas.

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 11 de abril de 2011 de <http://www.praxair.com.mx>

PSE. 2007-2012. (2007). *Programa Sectorial de Energía 2007-2012*, Secretaria de Energía. Disponible en: <http://www.energía.gob.mx/>

PSE. 2007-2012 (2007). *Programa Sectorial de Economía 2007-2012*, Secretaría de Economía. Disponible en: <http://www.economía.gob.mx>

PSMAYRN. 2007-2012. (2007). *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx>

RAMSEY, F. (1927). "A Contribution to the Theory of Taxation", *Economic Journal*, 37, (March), 47-61. The Economic Journal © 1927 Royal Economic Society, Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/2222721>.

RAPPO Y VAQUEZ. (2006). *¿Es posible transitar hacia la sustentabilidad?* En Memorias del XVII Conferencia Internacional de la AFEIEAL. "Estrategias de Desarrollo y Alternativas para América Latina y el Caribe". México, Editorial BUAP. ISBN 968 863 986 9.

REVISTA TECNOCENCIA. (2005). *Pilas de combustible de hidrogeno*, Disponible en: <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. Cuando se agote el petróleo. La próxima gran revolución económica, Editorial Paidós Iberica, Madrid, España.

- SAMUELSON, R.** (1958). *An Exact Consumption-Loan Model of Interest with or without the Social Contrivance of Money*, Journal of Political Economy 1958 66:6, 467.
- SANCHEZ, I., y LEDEZMA, Z.** (2003). *Acercamiento a la medición de las externalidades en el enfoque económico social de la evaluación de inversiones*. Universidad Eafit, 33-40, año/vol. 39, número 131, Medellín Colombia.
- SARMIENTO, R.** (2010). *Transporte y Sustentabilidad*. Revista Energía a Debate. Septiembre octubre de 2010. Obtenido de <http://energíadebate.com>
- SECRETARÍA DE SALUD.** (2006). *Sala de prensa*, Difusión. México. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx>
- SEMARNAT.** (2005). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *La importancia de los Combustibles de Ultra Bajo Azufre para México*. México.
- SEMARNAT.** (2010). *Guía de Programas de Fomento de Energías Renovables para la República Mexicana*. ISBN: 978-607-7908-23-4. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx>
- SENER.** (2006). Secretaría de Energía. *Prospectiva de petrolíferos 2005-2014*. México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2007). Secretaría de Energía, *Prospectiva de petrolíferos 2007-2016*, México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2008). Secretaría de Energía, *Balance Nacional de Energía 2008*, México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2009). Secretaría de Energía, *Balance Nacional de Energía 2009*, México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2010). Secretaría de Energía, *Estrategia Nacional de Energía 2010*. México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2010). Sistema de Información Energética, *Información Estadística*, Secretaría de Energía. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SENER.** (2006). Secretaría de Energía. *Prospectiva de petrolíferos 2006-2012*. México. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx>
- SERRANO, J. y MUCIÑO, D.** (2010). *Producción de hidrógeno por electrólisis con energía eoloelectrónica*. UNAM. Disponible en: <http://es.scribd.com>

- SETRAVI.** (2004). Secretaria de transporte y vialidad. *El transporte en la región centro de México* vol. 1, diagnóstico general. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx>
- SHAFIK, N.** (1992). *Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence*. Background Paper for the World Development Report 1992, The World Bank, Washington DC.
- SIEBERT.** (1998), citado en Borrayo Lopez, Rafael (2002). *Sustentabilidad y desarrollo económico*, Editorial Plaza y Valdez.
- SILVA, A.** (1997), "*Conceptos de Desarrollo Sustentable: Un Análisis Económico*" Síntesis del Segundo Documento de Medio Ambiente del Banco Mundial, Editado por la Universidad de Buenos Aires, Argentina 1997.
- SMA.** (2000). Secretaria del Medio Ambiente. *Inventario Nacional de Emisiones 2000*. Disponible en: <http://www.sima.com.mx>
- SIMA.** (2001). *Calidad del Aire en la ciudad de México*. Disponible en: <http://www.sima.com.mx>
- SMA.** (2002). *Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2003). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Actualización del programa hoy no circula*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2004). Secretaría del medio ambiente. *Contaminación del aire y transporte vehicular en la ZMVM*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2006). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Inventario de Emisiones 2006*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2006). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2010). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Programa de Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal 2008-2012*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- SMA.** (2011). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. *Programas y normas vigentes*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php>

SOLOW, R. (1974). *The Economics of Resources or the Resources of Economics*. The American Economic Review, Vol. 64, No. 2, Papers and Proceedings of the Eighty-sixth. Annual Meeting of the American Economic Association. (May, 1974), pp. 1-14.

STERN. N. (2007). *The Economics of Climate Change, The Stern Review*, Cambridge University Press, ISBN: 9780521700801.

THURSTON, L. (1999). *Dynamic Landscapes as Socio-Political Process: The Topography of Anthropogenic Environments in Global Perspective*. Disponible en: <http://books.google.com.mx>.

UNDESA, U. D. (2003). *Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible . Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo .* Johannesburgo: Organización de Naciones Unidas.

VERDEJO, M. E. (2000). *Economía Sociedad y Medio Ambiente*. México D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

VILALTA-PERDOMO, E. (2010). *What Keeps Us Together and Makes Us Effective?: A collective action approach to the study of information Systems*, Publisher: VDM Verlag Dr. Müller (March 5, 2010). Disponible en: <http://books.google.com.mx>

WHITE HOUSE. (2007). *El Estado de la Nación: Programa de Energía Avanzada*. Disponible en: <http://www.whitehouse.gov/news>