



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

TRANSICIÓN ENÉRGICA EN
NORTEAMÉRICA:
LA SUSTITUCIÓN DEL PETRÓLEO POR
OTROS COMBUSTIBLES EN LA ÚLTIMA
DÉCADA EN EL SECTOR TRANSPORTE EN
LA MODALIDAD TERRESTRE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA:
IVÁN PAREDES RESÉNDIZ

ASESOR DE TESIS:
Dr. FIDEL AROCHE REYES

MÉXICO, D.F. JUNIO DE 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

Introducción.....	6
Metodología	7
1 Capítulo I: Transiciones energéticas: la energía en el circuito económico y social.....	9
1.1 Teorías energéticas	9
1.2 Energía de Flujos o de Existencias.....	10
1.3 Leyes de la termodinámica.....	11
1.4 La energía en el circuito económico y social: antecedentes históricos	14
1.5 El transporte y la energía	19
1.6 Transiciones energéticas.....	19
1.6.1 Transiciones energéticas anteriores.....	21
1.7 Revolución industrial.....	22
1.7.1 De la madera al carbón.....	22
1.7.2 Del carbón al petróleo	25
1.8 Cambios tecnológicos en la industria de la energía.....	28
1.9 Perspectivas y modelos sobre las transiciones energéticas	29
1.9.1 Modelo de sustitución serial y energética de escalera.....	29
1.9.2 Modelo de desarrollo tecnológico en bloque	30
1.9.3 Modelo de análisis evolutivo.....	30
1.10 Conclusiones preliminares	31
2 Capítulo II: El sector energético en la región de Norteamérica	32
2.1 Características energéticas de la región de Norteamérica	32
2.2 El comercio energético en la región	36
2.2.1 EE. UU.	38
2.2.2 Canadá.....	43
2.2.3 México.....	47
3 Capítulo III: El sector transporte en la región de Norteamérica	52
3.1 La importancia del transporte	52
3.2 El sector transporte en la economía de la región de Norteamérica	56
3.2.1 Modalidades del transporte en la región	57
3.3 Participación en el PIB	58
3.4 Personal ocupado en el sector transporte en la región de Norteamérica	59
3.5 Infraestructura de transporte.....	62
3.6 El consumo de energía en el sector transporte	64

3.7	Consumo por modalidad.....	65
3.8	Contaminantes del transporte	66
3.9	Contaminantes globales de efecto invernadero	67
3.9.1	Contaminantes locales.....	69
3.10	Conclusiones preliminares	70
4	Capítulo IV: Tecnologías y Combustibles complementarios del sector transporte terrestre	71
4.1	Transición, complementos o sustitutos.....	71
4.1.1	El desarrollo de la tecnología en el sector transporte.....	72
4.2	Las tecnologías complementarias.....	75
4.2.1	El gas natural.....	75
4.2.2	Biocombustibles	77
4.2.3	Autos Eléctricos	81
4.2.4	Autos de Hidrógeno	85
4.3	Conclusiones preliminares.....	87
5	Propuestas.....	88
5.1	Eficiencia	88
5.2	Sustitución acelerada	88
6	Conclusiones Generales	90
7	Bibliografía.....	93

A mi madre

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por ser un ejemplo imprescindible, por su sincero cariño, por todo lo que he aprendido de ella y lo que quiero seguir aprendiendo y por su apoyo para la realización de esta Tesis.

Agradezco también a mi familia, mis abuelos María de la Paz y Ezequiel, por enseñarme a tener paciencia y ser ordenado con la vida, a mis tíos Ezequiel, Delia y Pedro, y a Mariana mi prima, por su apoyo y sus consejos, y sobre todo su paciencia.

Agradezco también al Dr. Fidel Aroche Reyes, el cual es un tutor excepcional, un profesor que motiva y un intelectual de la categoría de los que demanda México, así como a todos los profesores con los que he tenido el gusto y el honor de tomar clase.

Quisiera agradecer también a Sandra por su amor prospectivo, sus observaciones a esta tesis y por darme motivaciones para siempre ir adelante.
Hago extensivo mi agradecimiento a la UNAM, procuraré honrarla como profesionista y como universitario.

Agradezco también a los muchos amigos que he tenido la fortuna de conocer a lo largo de mis diferentes etapas escolares de la secundaria a la universidad, a los cuales aprecio entrañablemente.

Introducción.

La energía posee implicaciones en el desarrollo y en el colapso de las civilizaciones. Una de las razones principales de que suceda así es que se necesita para llevar a cabo todas las actividades humanas; especialmente una que en la sociedad actual se ha vuelto fundamental: el transporte

De igual manera, el transporte deja marcas enormes en la civilización, tanto por la velocidad con que los nuevos medios de transporte tienden a difundirse, como por la capacidad que tiene para transformar al resto de la sociedad, ya que impacta directamente en la forma en que una sociedad comercia, en los gustos y en las preferencias de sus habitantes y en el tamaño máximo que una población puede alcanzar.

Por lo tanto, el objetivo general de esta tesis es, en primera instancia, abrir el debate acerca de los impactos que tendría en el transporte de Norteamérica, en la modalidad terrestre, el uso de combustibles diferentes a la gasolina y al diesel.

En segundo lugar, mostrar las características energéticas de la zona de Norteamérica y la proclividad de la región a producir y consumir petróleo, con base en las reservas probadas actuales y en el marco regulatorio que tienen en la actualidad.

Finalmente, mostrar las opciones actuales que existen para complementar o sustituir el consumo de derivados de petróleo en el transporte, considerando sus ventajas, sus costos y la posibilidad de que su uso se difunda en toda la región.

La tesis que se sustentará a largo del presente trabajo indica que la transición energética en Norteamérica, considerándola como una sustitución del uso del petróleo como combustible, no se está dando en la actualidad, ya que las tecnologías disponibles son todavía caras, la infraestructura que permite su uso no es suficientemente amplia y presenta problemas relacionados con su uso.

A lo largo de esta tesis, que se divide en 4 capítulos y conclusión, se discutirán los siguientes aspectos:

En el capítulo uno hablaremos de la forma en que la energía entra al circuito social y económico; los diferentes enfoques teóricos desde 1800 hasta la actualidad, desde los autores clásicos como John Stuart Mill y William Jevons, hasta escritores más recientes como Vaclav Smil, Valdimir Pokrosvski y Eugene Rosa. Además se discutirá el concepto de transición energética y base energética, basándonos en las ideas de Wouter Pieterse, Peter Macrotullio y Roger Fouquet. Así mismo se desarrollará, de manera histórica, las diferentes etapas que ha tenido el uso de la energía por tipo de combustible usado, así como sus implicaciones para la sociedad.

En el segundo capítulo se analizarán las condiciones actuales del sector energético; la balanza energética de la región, si existe superávit o déficit en la producción del petróleo, gas natural y biocombustibles. Se presentará un cuadro general de cuál es la situación actual del sector energético, especialmente el de hidrocarburos, poniendo énfasis en la producción, el consumo y las reservas actuales, así como en el marco legal de explotación y desarrollo de combustibles “alternos” en cada uno de los países, ya que es de fundamental interés conocer la importancia actual de dicho sector, considerando sus debilidades y fortalezas.

Este análisis muestra las enormes disparidades que existen, tanto en producción, consumo, eficiencia y por supuesto, en las políticas implementadas en la búsqueda de la sustitución del petróleo como combustible primordial en el sector transporte.

El tercer capítulo se dedicará al transporte, no sólo desde un punto de vista histórico, sino también desde una perspectiva cuantitativa actual: su impacto en la economía, medida en millones de dólares, en empleos y en infraestructura; el efecto multiplicador que tiene y el que puede tener. Asimismo, se subrayará su relación con la energía, la eficiencia energética y la contaminación ambiental, aspectos que en gran sentido son los definitorios al hablar de cambio en el sector transporte.

En el capítulo 4 se analizarán las tecnologías disponibles en la actualidad, se estudiará si son soluciones a los problemas que el petróleo genera, o si por el contrario, persisten los problemas, tales como la contaminación, los accidentes y daños colaterales en la producción o el traslado de esos nuevos combustibles, tal y como sucede actualmente con el petróleo; si tendrán efectos ambientales negativos, no del todo mencionados por las compañías productoras de combustibles “alternativos” o por las instituciones internacionales como la EIA. Se analizarán también cuatro tecnologías, en particular, los automotores basados en motores que funcionan con gas natural, más limpios, eficientes y con una mayor amplitud en su uso actualmente, pero también más lentos y más caros.

Las conclusiones de este trabajo son particularmente pesimistas en lo que respecta a una pronta transición energética en el sector transporte, ya que aun con una vigorosa política pública a favor de otros combustibles, la sustitución no parece empezar a generarse. En realidad existe toda una serie de dificultades como el hecho de que sean varios los combustibles sustitutos y no sea sólo uno. Esto hace que sea difícil enfocar esfuerzos específicos de todos los actores involucrados. Otro punto en contra es que el petróleo es todavía abundante en la región, probablemente no en comparación con otras zonas, pero aun es capaz de producir para satisfacer $\frac{3}{4}$ de su demanda.

Todo lo anterior hace pensar que la transición no sólo no es probable en los próximos cinco o diez años, sino que tardará por lo menos otros 30 años, y que el sustituto más probable sea otro hidrocarburo: el gas natural, puesto que ya existe una gran cantidad de automóviles en circulación que lo utiliza, y de los combustibles alternativos, es que el más ha penetrado el mercado y el que menores costos políticos y sociales puede generar.

Metodología

Para realizar esta tesis, la metodología usada estará basada en la revisión de la literatura especializada, poniendo especial énfasis en los documentos editados por la IEA (Agencia Internacional de Energía por sus siglas en inglés), la EIA (Agencia de Información Energética de los EE.UU.) contrastándolos con los provenientes de Académicos independientes, Universidades y ONG's, ya que son dos visiones, en algunos sentidos, antagónicas.

Asimismo, se buscará respaldar con estadísticas y datos, todas las aseveraciones hechas acerca de la forma en que se está presentando la transición, efectuando un análisis gráfico y estadístico.

Dada la naturaleza del tema a discutir, se utilizará el método comparativo, al contrastar las variables de producción, consumo y reservas de energéticos que permitan definir el carácter de la transición energética que se estudia en este trabajo.

Las hipótesis que este trabajo maneja son:

Una transición energética no disminuye, en términos absolutos, el consumo del combustible anterior, simplemente cambia su contribución total a la economía.

La región de Norteamérica presenta un grupo de países sumamente dispares tanto en legislación como en reservas, sin embargo, al mismo tiempo presentan una estrategia similar en lo referente a apoyar una transición energética.

Las tecnologías para sustituir al petróleo se encuentran en un estado muy precario, dada la poca cantidad de unidades de transporte en circulación que funcionan con combustibles alternativos y los problemas colaterales que acarrearán.

1 Capítulo I: Transiciones energéticas: la energía en el circuito económico y social

“Día a día se hace más evidente que el carbón (energía) que estamos encantados de tener en una excelente calidad y en abundancia, es el crisol de la civilización material moderna. Como el origen del fuego, que es la fuente a la vez del movimiento mecánico y del cambio químico. En consecuencia, es el agente principal en casi todas las mejoras o descubrimientos en las artes o ciencias que en la época actual se desarrolla”.

William Jevons, La cuestión del Carbón (The Coal Question)

El objetivo del presente capítulo es definir el concepto de transición, el concepto de energía y la forma en que la energía entra al circuito social y económico, así como los diferentes enfoques teóricos desde 1800 hasta la actualidad, esto con el fin de distinguir el papel de la energía en la transformación de la sociedad.

Se desarrollarán de manera histórica las diferentes etapas que ha tenido el uso de la energía de acuerdo al combustible usado, así como las transformaciones sociales, económicas y culturales que ha significado este cambio para la sociedad. Finalmente, se discutirán algunos modelos propuestos por varios autores para explicar el proceso de transición energética, desde el modelo de escalera hasta el de análisis evolutivo.

1.1 Teorías energéticas

Hasta antes del siglo XIX, el estudio de la energía se limitó a la búsqueda y mejoramiento de los procesos por los cuales se obtenían los combustibles como el carbón o la madera; a factores técnicos y, relativamente poco, al estudio de su interacción con la sociedad y la economía¹. Es necesario definir el concepto de energía, ya que de otro modo no es posible aproximarse al tema.

A la energía la definimos como “la capacidad física para transformar la materia, es decir, la habilidad para realizar trabajo²”. A partir de esta definición, que es utilizada con amplitud en todos los campos del conocimiento, podemos empezar a elaborar un marco general en el cual interrelacionaremos energía, economía y transporte.

Otro término que será determinante es el de entropía. Es un concepto desarrollado poco después de la revolución industrial. Su importancia es tal que trasciende el ámbito de la física y se adentra en el campo de la ecología, la economía y el de la información. Su

¹La mayoría de los estudios de la época (1790-1840) se refieren al proceso de extracción del carbón como lo menciona el propio William Stanley Jevons en *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, esta falta de interés se entiende en parte por la relativa poca importancia del carbón en la economía en general y como se menciona en el texto a la falta de una definición precisa dada por los físicos.

²Tomado de Términos generales del *Energy Information Agency*, glosario de términos.

definición es, en términos simples, el aumento de caos dentro de un sistema, es decir, el aumento de energía incapaz de ser usada para realizar trabajo ordenado.³

Ya establecido este concepto, podemos expresar el significado de energía en términos de la termodinámica, ya que esta formulación nos permite observar otras aristas.

En un sistema abierto podemos expresar el concepto de energía del siguiente modo $E_f - E_i = \Delta E = J - Q - W$, donde E_i es la energía inicial en un sistema abierto, E_f es la energía final que resulta después de realizada una acción; el calor tomado o expulsado por el sistema se expresa por $J - Q$ según sea Q negativa o positiva, y W , representa el trabajo realizado, que puede tomar el valor 0 en caso de que simplemente la energía se hubiera transformado en calor únicamente como en el caso de una fogata.

Es pues que, siguiendo la definición abstracta, observamos que la energía simplemente se transforma y no se destruye; permanecen sus elementos en otra forma, es por eso que debemos ser cuidadosos cuando hablamos del “consumo de energía” y si bien lo hacemos por convención, lo correcto debería ser referirnos a la transformación de energía.⁴

1.2 Energía de Flujos o de Existencias.

La energía que se utiliza en el mundo puede tomar una de dos modalidades: la de energía almacenada en forma de reservas (stocks) acumuladas durante miles o millones de años, esto es, cuerpos de seres vivos que absorbieron la luz del sol, son convertidos así en reservorios de energía. O bien, en forma de flujos continuos y constantes, el mayor de ellos es sin duda el calor y la luz que recibimos del sol.

La diferencia entre una y otra es de fundamental importancia, pues mientras que en gran parte de la historia humana, la energía de flujos fue la única o por lo menos, de la que se apoyaba el ser humano para la mayoría de sus actividades, es la Revolución industrial la que desplaza la utilización de esta fuente de energía por una de reservas, es decir, una economía basada en la necesidad continua de encontrar pozos, o minas de las cuales abastecerse.

Hoy en día, esa preocupación ha generado conflictos internacionales: en numerosas naciones, la mera idea de que las reservas suponen riqueza acumulada⁵ es un aliciente para que los países emprendan guerras, luchas geopolíticas y tensiones internacionales.

³ Lozada, Gabriel A. Entropy and the Economic Process en Cutler J. Cleveland “Encyclopedia of Energy, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, Boston Vol 2, pag. 471,

⁴ Slesser, Malcom, “*Energy in the Economy*”, ed London Mac Millan 1985

⁵ Kern, Soeren, Cómo la demanda de petróleo determina la política exterior estadounidense, *Cuadernos de Energía*, N° 13, Junio 2006

1.3 Leyes de la termodinámica.

Un primer paso, que por lo demás será breve pero necesario, es explicar y ejemplificar las leyes de la termodinámica, leyes cuyo entendimiento nos permitirá acercarnos a la comprensión de que la energía útil tiende a decrecer.

De acuerdo a uno de los grandes pensadores de la economía energética o economía de la energía, Nicolas Georgescu, nuestro acercamiento a la ciencia económica está basado claramente en un punto de vista newtoniano, que es poco receptivo a las leyes de la termodinámica, es decir, incapaz de comprender que la entropía marca un final inevitable a la especie humana.

“Sólo un análisis de la cercana relación entre la ley de la entropía y el proceso económico puede traer a la superficie esos aspectos cualitativos de este proceso, el cual no tiene un espacio en el estudio de la economía moderna, basada ante todo en la física clásica”⁶

De acuerdo a Georgescu, cuando el enfoque de las ciencias físicas cambió a finales del siglo XIX y principios del XX, la transformación en el `paradigma no afectó a la rama económica, por lo que nuestro pensamiento no evolucionó en el mismo sentido y nos encontramos rezagados, “profesando la creencia en la inmortalidad de la humanidad”⁷

Es por eso que menciona lo siguiente:

“Existe gran confusión acerca del problema ambiental que prevalece, no sólo entre economistas, sino también en los altos círculos académicos, porque simplemente la entropía natural de todos los actos es ignorada o malentendida.”⁸

La ley cero de la termodinámica establece la existencia de un equilibrio térmico entre dos cuerpos y el resto de su entorno.

Si $\Delta Q_1 = 0$ y $\Delta Q_2 = 0$. entonces $Q_1 = Q_2$, siendo ΔQ_1 y ΔQ_2 las variaciones en las temperaturas en dos sistemas contiguos, y Q_1, Q_2 son las temperaturas en ambos sistemas.

La primera ley, a la que ya hacíamos referencia en párrafos superiores, se refiere al hecho de que la energía simplemente se transforma, es decir, no puede ni ser creada o destruida dentro de un sistema cerrado; en el sentido abstracto resulta $\Delta E = 0$ y $\Delta E = \Delta Q - \Delta W_u$

La segunda ley de la termodinámica establece que la entropía, en un sistema aislado, crece con el tiempo. La importancia económica de esta ley estriba en que si la Tierra es, como ya supusimos para efectos prácticos, un sistema cerrado, la entropía o el caos crecerá constantemente al interior y la única solución posible es la absorción de más energía.

En términos físicos, se puede asumir de tres formas distintas, enunciadas por tres eminentes físicos:

La postulación Kelvin-Planck

“No hay ningún proceso cuyo único resultado posible es la absorción de calor de un depósito y la conversión de este calor en trabajo.”

⁶ Georgescu-Roegen, Nicholas *The Entropy Law and the Economic Process* (1971). Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts, pág. 3, cap I

⁷ Idem, pag 5

⁸ Idem pag 7

La formulación Rudolf Julius Clausius:

“No hay ningún proceso cuyo único resultado posible es la transferencia de calor de un cuerpo más frío a un cuerpo más caliente.”

O bien en términos de la entropía que nos dice lo siguiente

“En un sistema aislado la entropía no disminuye”⁹.

Todas las oraciones anteriores significan esencialmente que la entropía es creciente y que no puede suceder la transferencia de calor de un cuerpo de menor temperatura a uno de mayor temperatura sin que haya procesos paralelos en sentido contrario.

La tercera y última ley de la termodinámica que mencionaremos es de poca relevancia en el sistema social, ya que sólo enuncia la imposibilidad de alcanzar el cero absoluto con procesos físicos finitos, y como sabemos, la mayoría de los procesos económicos se realizan a una temperatura muy superior de 0 grados kelvin, momento en el cual la entropía es absoluta. Es decir, es probable que el fin del universo sea un enfriamiento constante y prácticamente perpetuo.

Las leyes de la termodinámica nos permiten pronosticar sin temor a la equivocación, que la energía útil en un sistema cerrado, tiende a decrecer. En otras palabras, la humanidad debe estar en la búsqueda constante de hacerse de energía de flujos, y no basarse en una energía de existencias.

Teniendo claros estos conceptos, podemos empezar a ver cual ha sido el acercamiento que le han dado los científicos sociales a este tema.

Algunos economistas han estudiado el tema de manera implícita en sus escritos, entre los cuales destacan William Jevons y John Stuart Mill: El primero se centró en el estudio del carbón, dilucidando el porqué de su precio y la importancia de la industria carbonífera; y el segundo esbozó un breve comentario acerca de la inclusión de las fuerzas y recursos naturales como sustitutos de la fuerza y el trabajo humano, tal como lo expresó en el siguiente párrafo:

“La naturaleza, sin embargo, hace algo más que suministrar materiales, también suministra los poderes. La tierra no es un receptor inerte de formas y propiedades movido por la mano del hombre, tiene energías activas en las que coopera, e incluso, puede ser utilizado como un sustituto de la mano de obra: en los pueblos de edades tempranas, el maíz es convertido en harina a golpes entre dos piedras... Cuando llegó el momento en que la mano de obra y los sufrimientos de los esclavos se consideraban dignos de economizar, la mayor parte de este esfuerzo físico se hizo innecesario: mediante el artificio de que la parte superior de una piedra se hace girar sobre la parte inferior de otra, no por la fuerza humana, sino por la fuerza del viento o del agua que cae. En este caso, los agentes naturales, el viento o la gravedad de las aguas, están hechos para hacer una parte de la labor anteriormente realizada por el trabajo”¹⁰.

A finales del siglo XIX y con una definición más precisa de energía, científicos como Herbert Spencer, Wilhelm Ostwald, Frederick Soddy, entre otros muchos, le dan otro enfoque al tema y se formaliza la idea tal y como lo menciona Eugene A. Rose de que la energía desempeñaba un papel vital al momento de determinar el nivel de vida y de desarrollo en una sociedad dada. “La energía es el medio para realizar el trabajo. Si las

⁹ Lozada, Gabriel A. Entropy and the Economic Process en Cutler J. Cleveland “Encyclopedia of Energy, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, Boston Vol 2, pag. 471,

¹⁰ Mill, John Stuart, *The Principles of Political Economy*, EconomicLib, 1998, Chicago 235, pp,

sociedades avanzadas logran una mayor producción que otras, parece que la energía es responsable en gran medida por las diferencias materiales entre las sociedades”¹¹.

En este mismo sentido, el premio Nobel de Química Wilhelm Ostwald afirmó en su obra “El imperativo energético (Der Energetische Imperativ)”, en 1923, que la gran parte de los cambios sociales de la humanidad están definidos por la capacidad de la misma para convertir la energía “cruda” o inútil en energía utilizada y evidentemente a una mayor tasa de conversión de energía “cruda” en energía útil, mayor será el desarrollo de las sociedades.

Frederick Soddy es quien establece por primera vez la idea de que la sociedad presentaba límites físicos para consumir y transformar la energía, incapaces de ser superados; límites dados por la cantidad de energía disponible: Advirtió que el desarrollo de la sociedad era sólo posible hasta el punto en que toda la energía inútil fuera transformada en beneficiosa o aplicable, más allá de este punto habitaba el vacío.¹² Gran parte de las ideas de Soddy fueron consideradas, en su tiempo, como apocalípticas y poco reales, ya que en la época en que fueron pronunciadas, el carbón del que aún existían enormes reservas, era sustituido por un nuevo combustible: el petróleo, más calorífico y menos contaminante.

Un importante crítico de los teóricos anteriores que le otorgaban a la energía un papel predominante en el desarrollo de la sociedad, fue el sociólogo Lewis Mumford, quien asume que es el cambio técnico el que permite el crecimiento, ya que sin él, los diferentes combustibles descubiertos serían poco útiles en el desarrollo de la sociedad, ejemplificando que el carbón ya era usado desde los romanos y no por ello existió una revolución industrial, es decir, es la conjunción de combustible y tecnología lo que hace posible el desarrollo de una sociedad.

Por su parte, Leslie A. White asumió seriamente la importancia de la energía en el desarrollo y creación de sociedades, plantea que la evolución de una cultura depende de tres factores principales: el cultural, el ideológico y el tecnológico, siendo este último, la capacidad para resolver problemas, es decir, la capacidad humana para transformar suficiente energía para satisfacer las necesidades del hombre. En ese mismo sentido menciona que las sociedades que pueden coleccionar más energía per cápita de su medio ambiente y transformarla con mayor eficiencia, serán más avanzadas que otras que lo hagan con menor eficiencia y en menor cantidad. Establece una relación matemática $ET=C$ en donde E es la energía consumida per cápita controlada por un ciudadano promedio, T es la eficiencia con la que es transformada dicha energía y C el nivel de evolución de una sociedad, de acuerdo con los parámetros anteriores.

White no examinó las posibles limitantes de desarrollo de las sociedades, asumía que ya existe un límite a la eficiencia que se puede lograr con un artefacto mecánico; si una civilización desea continuar avanzando es necesario que incremente con regularidad la energía consumida per cápita. “La cultura se desarrolla cuando la cantidad de energía por habitante al año se incrementa, conforme aumenta la eficacia de los medios tecnológicos de poner esta energía a trabajar, o bien, que ambos factores crezcan al mismo tiempo”¹³. La importancia concedida por este autor a la energía en las sociedades,

¹¹Eugene Rosa; Machilis Gary; Kenneth M. Keating, *Energy and Society*, Washington, Annual Review of Sociology, 1988, pp. 149-172.

¹²Soddy Frederick, *Wealth Virtual Wealth and Debt*, George Allen, 1926, 208 p.

¹³White Leslie, *Energy and the Evolution of Culture*, American Anthropologist, New Series, Vol. 45, No. 3, Part 1 (Jul. - Sep., 1943), pp. 335 -356.

queda patente cuando establece en su controvertido artículo publicado en la revista *American Anthropologist* “La energía y la evolución de la cultura (Energy and the Evolution of Culture)” que:

“Los organismos vivos pueden ser considerados como los motores que funcionan por medio de la energía recibida, directa o indirectamente del sol. Las civilizaciones o culturas de la humanidad, también puede ser consideradas como una forma de organizar la energía”¹⁴.

Hoy en día, muchos otros pensadores han contribuido en la búsqueda de la relación entre la energía y la sociedad. En la actualidad, el geógrafo canadiense Smil Vaclav¹⁵ ha contribuido generando una serie de ensayos acerca de la historia vista a través de los usos de la energía.

Actualmente, el tratamiento que le dan las sociedades, las naciones y los científicos a los combustibles y en general, a las formas de obtener energía, no es el de un proceso productivo más o una materia prima común; muy por el contrario se le da el carácter de estratégica, es decir, los gobiernos y las sociedades están dispuestos a utilizar la fuerza militar para preservar su derecho sobre la misma, y además, en muchos países, sus industrias energéticas se hallan íntimamente ligadas a las formas, instituciones y creencias de una nación. Hay varios ejemplos puntuales: el caso de México, en donde el presupuesto gubernamental depende fuertemente de PEMEX y el día de la expropiación petrolera es celebrada como fiesta nacional; el caso de EE. UU. con la Standard Oil, que representa el espíritu capitalista y a las instituciones norteamericanas; además su gobierno fue capaz de enfrascarse en una guerra para asegurarse una oferta constante de petróleo. Otro caso es el de Gazprom, en Rusia, que es usada como brazo político del gobierno de Vladimir Putin para imponer voluntades sobre otras naciones¹⁶ dependientes del gas ruso y por supuesto, la British Petroleum Co, cuyos CEOs han sido condecorados varias veces por la Reina. Esto es una prueba más de la importancia que se le concede al petróleo y en general, a todos los combustibles, en todas las sociedades del mundo.

1.4 La energía en el circuito económico y social: antecedentes históricos

La capacidad de controlar y disponer de más energía de la requerida para sobrevivir es elemento necesario para la conformación y el mantenimiento de una civilización, tal y como lo menciona Eugene A. Rose quien va más lejos y afirma que:

“La energía, aunque fundamentalmente es una variable física, penetra de manera significativa en casi todas las facetas del mundo social. Estilos de vida, patrones generales de comunicación e integración, actividades colectivas y las principales características de la estructura social están condicionadas por la disponibilidad de energía.”¹⁷

¹⁴Ibid. p. 344.

¹⁵ Dirección URL: <http://home.cc.umanitoba.ca/~vsmil/>, sitio personal del autor en la Universidad de Manitoba. (Consulta 25 de octubre de 2009).

¹⁶ The Economist, “Gazprom, Russia's energetic enigma”, Oct 6th 2005.

¹⁷ Eugene Rosa; Machilis Gary; op. cit. p. 169.

En los albores de la humanidad, cuando el ser humano estaba aún en su etapa de cazador-recolector, la energía obtenida del medio ambiente en la forma de alimentos, era todavía exigua o al menos aun insuficiente como para permitir que porciones de la población se dedicaran a tareas que no fueran mantener la producción per cápita de alimentos. Probablemente no se podía asegurar un crecimiento constante de la población, por lo que en la mayoría de los casos, las comunidades no eran muy extensas y enfrentaban constantes crisis de escasez que hacían fluctuar su población de acuerdo con lo benigno de la caza.

Es todavía cuestión de debate asumir si la escasez de alimentos silvestres y presas salvajes llevó al hombre a la primera revolución¹⁸ en su historia: el desarrollo de la agricultura. Si tal fue el caso, es justo decir que el ser humano logró superar la primera crisis energética de su historia, sustituyendo una fuente de kilocalorías irregular por otra más confiable, constante y fácil de obtener dada la tecnología existente en el momento, siendo ésta una actitud que la humanidad ha seguido emulando a lo largo del tiempo.

Este cambio supuso una serie de transformaciones en la creación y organización de las sociedades, dio paso a las civilizaciones y por primera vez permitió que existiera todo un segmento de la población cuya labor no se hallaba en ir a trabajar con sus manos y fuerza al campo, sino que se le encomendaban nuevas tareas: la guerra, la religión y el desarrollo de la escritura y la ciencia.

La agricultura trajo consigo un aumento de la producción de alimentos per cápita, es decir, un incremento en las kilocalorías disponibles para los miembros de la sociedad y permitió que los asentamientos humanos fueran creciendo sin verse limitados por la falta de alimentos, salvo casos excepcionales. Este crecimiento de las cosechas permitió también el desarrollo del ganado, pues éste consume mucha más energía de la que produce.¹⁹

En estas civilizaciones donde había la disponibilidad de grandes animales, se desarrolló la ganadería, que supuso también que los seres humanos poseyeran ahora no sólo energía en la forma de alimentos sino también como bestias de carga, las cuales permitieron ampliar los territorios que podían conocer, dominar y comerciar, incrementándose con ello la energía consumida en la forma de transporte.

Es importante remarcar un punto que se volverá más trascendente conforme avanzamos en esta vertiginosa historia humana vista a través de la energía: los combustibles están íntimamente ligados al transporte y éste a su vez, se halla ligado al desarrollo de las civilizaciones. No en vano, Roma fue conocida por sus caminos, Inglaterra movilizó su revolución industrial en trenes o la General Motors se volvió sinónimo de EE. UU. en los años cincuentas. Los transportes son el eje con el cual una civilización crece o se restringe.

La necesidad de las civilizaciones de contar con trabajo disponible para las majestuosas edificaciones, ya sea dedicadas a sus dioses en forma de templos o bien para su uso diario como son los acueductos y canales de riego; el requerimiento de mayor capacidad de desplazamiento y siendo menester calentar sus casas en invierno, motivaron múltiples formas de hacerse de esa energía. En el primer caso, la esclavitud

¹⁸ Cipolla, Carlo M, “*Historia económica de la población mundial*” Editorial Critica, Madrid 2001

¹⁹ Hacen falta casi cuatro kilos de proteína vegetal para producir un kilo de energía animal. En términos energéticos, la producción de una caloría de carne requiere casi 28 o más calorías vegetales de acuerdo con el artículo “Sostenibilidad de las dietas basadas en carne y dietas basadas en plantas y el medio ambiente”, Dirección URL: http://www.unizar.es/med_naturista/Trabajos/articulo1.pdf, (Consulta, 4 de julio de 2009).

permitió multiplicar el trabajo disponible; los animales como el caballo y el elefante, permitieron aumentar la movilidad y la carga, y finalmente, la madera sirvió para proporcionar la energía térmica necesaria para conquistar territorios cada vez más inhóspitos.

El crecimiento de las civilizaciones continuó, sus miembros pasaron de algunos miles y llegaron a cientos de miles, en algunos casos millones; esto requería de cada vez mayores fuentes de energía disponible, muchas sociedades antiguas simplemente no pudieron mantener dicho crecimiento y mucho menos incrementarlo.²⁰

Los ejemplos en donde la disponibilidad decreciente de energía aprovechable significó el deterioro y posterior caída de civilizaciones enteras es palpable en todo el mundo: la gran civilización romana del siglo V²¹ vio una incapacidad para mantener sus caminos, acueductos y fronteras, y poco a poco fue sucumbiendo ante el inevitable proceso de entropía. Pueblos como el de la Isla de Pascua sufrieron ante la deforestación indiscriminada y la incapacidad de administrar sus recursos energéticos, lo que finalmente acabó con sus pobladores.²²

La civilización Maya es probablemente otro claro ejemplo de cómo la disminución de energía disponible (alimentos) es, sin asumir que fue el único factor involucrado, un elemento clave en la decadencia de la misma²³.

Si bien estas civilizaciones colapsaron, pronto otras tomaron su lugar y el desarrollo humano siguió su marcha. Debemos entonces obtener dos pequeñas lecciones de estas civilizaciones: la primera es que la energía disponible es uno más de los factores que determina, tal como lo mencionábamos en párrafos anteriores, citando a Eugene A. Rose, la estructura de clases de la sociedad, la forma en cómo se producen los bienes y por supuesto la duración que dicha civilización tiene sobre la faz de la tierra.

Otra lección que debemos captar es que las sociedades necesitan estar en una búsqueda constante por incrementar su energía disponible, aun si éstas se encuentran en un estado de crecimiento nulo, pues las estructuras creadas absorben gran cantidad de energía, es decir, la entropía está en constante crecimiento. De hecho, según lo menciona Georgescu, ni las sociedades con crecimiento cero son para siempre. “El error fundamental consiste en no ver que no sólo el crecimiento, sino también un estado de crecimiento cero, incluso un estado de deterioro que no converge hacia la aniquilación, no puede existir para siempre en un ambiente finito”²⁴.

La caída de las grandes civilizaciones del pasado no detuvo ni evitó la creación de nuevas sociedades que buscaron, a su modo y según los recursos disponibles en el área de desarrollo, nuevas formas de hacerse de materiales.

Es en la Europa Renacentista en donde el ingenio humano retomó su auge y surgió el desarrollo de inventos e innovaciones tales como el molino de viento y de agua y su uso en forma generalizada,²⁵ que permitía a las civilizaciones que los utilizaban, incrementar su base energética, es decir, aumentaron el trabajo que sus manos podían

²⁰Morris Donald E., *History and Economics Provide Better Renewable Energy Strategies*, en IEEE Green Technology Conference, Lubbock, TX, abril 17 2007, p. 1.

²¹ Smil V., *Energy in World History*, Westview Press, Boulder, CO, 1994, 300 p.

²² Morris Donald E., op. cit. p. 1.

²³ Idem.

²⁴ Georgescu Roegen Nicholas, *The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis*, BioScience, 1977, Vol. 27, Num. 4.

²⁵ Hay indicios, de acuerdo con Peter Pearson, de que los romanos utilizaban molinos de agua.

hacer, el molido de cereales dejó de requerir muchas horas-hombre de trabajo, pues éste era realizado ahora por el viento y el agua.

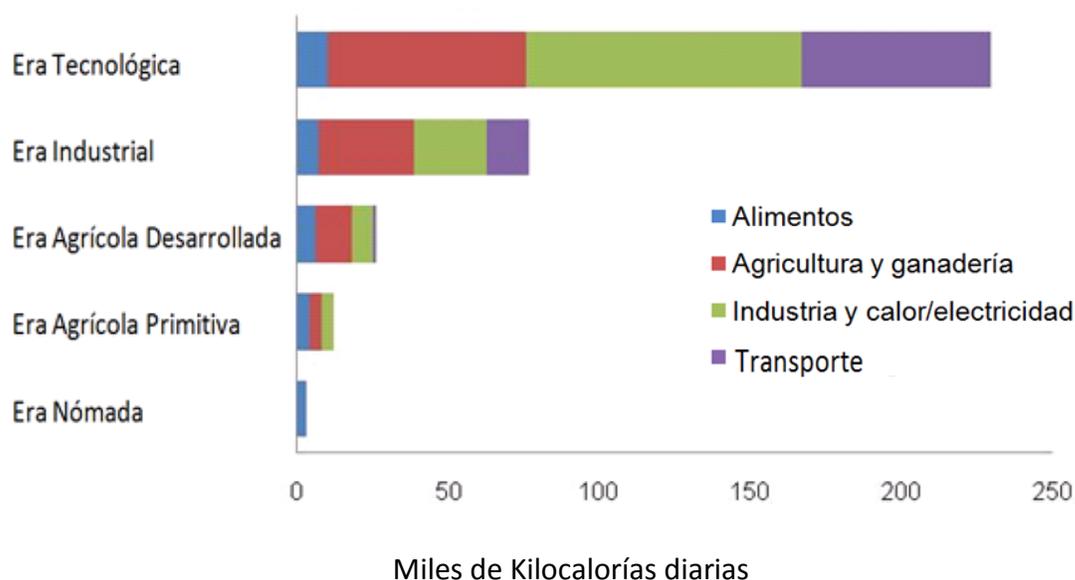
La base energética, desde que se desarrollaron estos elementos, no ha dejado de crecer. Desde la Edad Media la energía disponible per cápita a nivel mundial ha estado en constante aumento, es lógico asumir que el incremento casi constante de la producción, que comenzó en la revolución industrial, tenga su origen en el incremento del consumo de energía.

En la ilustración I, donde se muestra la energía consumida por los seres humanos en distintos periodos de la historia en un día dado de sus vidas; podemos observar como la energía transformada por el ser humano desde el origen de la civilización hasta nuestros días se ha incrementado cerca de 40 veces.

Los distintos periodos a los que hace referencia la gráfica, son los siguientes:

- El hombre cazador primitivo que se estableció entre el 7000 a.C y el 2000 a.C. en todo el mundo; consumía toda su energía en la forma de alimentos que recolectaba o cazaba, en su mayoría vegetales; la distancia recorrida diaria era mínima y por supuesto no utilizaban la energía en la producción de artefactos.
- El hombre de Agricultura Primitiva que existía entre el 2000 a.C. y el 1000 a.C seguía dependiendo parcialmente de la caza, aunque ahora también consumía la energía obtenida de las cosechas y empezaba a destinar energía a la creación de cierto tipo de herramientas o a la utilización de fogatas.
- El hombre de Agricultura Desarrollada ubicado entre los años 1000 a.C. y 1700. Civilizaciones como la egipcia, la sumeria, la romana y la maya consumía la mayor parte de su energía en alimentos cosechados, en fogatas y probablemente en trabajos que realizaba a fin de elaborar ciertos instrumentos o en la construcción de edificaciones. Por primera vez, el consumo de energía en la forma de transporte aparece.
- El hombre de la era industrial ubicado en Inglaterra desde 1700 y en otras partes del mundo desde 1800 consume buena parte de la energía en la forma de alimentos, calefacción y mercancías industriales, al mismo tiempo que también se puede permitir transportarse distancias más lejanas con cierta regularidad.
- Finalmente, el hombre moderno que se podría considerar un ciudadano de un país desarrollado de clase media, el cual tiene a su disposición una gran cantidad de energía en la forma de alimentos, manufacturas y por supuesto transporte, ya que una persona promedio que posea auto, consume todos los días casi 1.5 litros de gasolina sólo en transporte, a esto habría que agregarle la energía que usa al cocinar sus alimentos en una estufa, al uso de aparatos electrónicos de entretenimiento, y por supuesto, los alimentos que consume, los cuales cada vez van representando una menor cantidad relativa del total de energía consumida, pese a que ahora se ingesta más carne.

Ilustración 1 Consumo de energía per cápita en distintos estadios de desarrollo



Fuente: Elaboración propia con datos de *La Energía* libro de la Scientific American Society.

Si bien la introducción de estas innovaciones generaron un aumento de la energía disponible en su momento, muchos de estos beneficios no se extendieron entre la población en general; aun hoy en día se puede observar una disparidad en el uso y consumo de la energía, pues en la actualidad casi 1600 millones de personas viven sin luz eléctrica de acuerdo al 2007/2008 Human Development Report²⁶, por no decir de aquellas que aun no poseen un auto o peor aún, son incapaces de alimentarse con los requerimientos calóricos necesarios. La energía, como casi todo en las sociedades actuales, se halla muy mal distribuida.

En un principio, esta disparidad se debía a que las fuentes potenciales para la transformación de la energía en trabajo útil, como ríos y zonas de viento en donde se instalaban molinos, no permitían beneficiar a toda la población, sólo a la circundante. Estas limitantes significaron, en la práctica, que no todos los poblados podían aprovechar dichas innovaciones y muchos quedaron al margen de la modernidad y del progreso; en la época actual, esta disparidad todavía existe y no parece haber forma de remediarla.

²⁶ Human Development Report 2007.

1.5 El transporte y la energía

Como podemos observar en la ilustración 1, a medida que se aumentaba la energía disponible, una de las actividades que más crecimiento tuvo fue la del transporte, en tanto que las actividades básicas, como la alimentación y la agricultura, quedaron relativamente constantes en el tiempo.

Es de esperarse, pues, que esta tendencia continúe, mas no sólo ha crecido la cantidad de energía dedicada al transporte y la distancia recorrida, sino que también ha habido un cambio cualitativo: cada vez son más los medios en que uno puede transportarse y cada vez más veloces, como se observará en el capítulo 3.

Otro punto importante es que en muchos sentidos, el transporte ha sido el sector de la economía en donde se han desarrollado y extendido las transiciones energéticas, es decir, es un sector que permite la innovación.

1.6 Transiciones energéticas

A lo largo de la historia humana, ha habido cambios cualitativos y cuantitativos en el uso, las fuentes de donde se obtiene la energía y la forma en que ésta se transforma en trabajo útil. En gran medida, estas modificaciones se han presentado con especial énfasis en los últimos 300 años. Estos cambios de procesos complejos son de tal magnitud que no pueden ser considerados simplemente mejoras tecnológicas, pues traen consigo toda una reformulación de la sociedad, la producción y de la relación entre economía y energía; estas transformaciones y la forma en que se da la introducción y sustitución de una fuente principal de energía por otro tipo de combustible, es a lo que llamaremos transición energética²⁷.

Es importante considerar que el concepto de transición energética es aún vago, por lo que nos será útil contemplar dos elementos clave del complejo proceso: cambios en la estructura y en la cantidad del combustible transformado.²⁸

De ahí que para Pieterse, "las transiciones son procesos de la evolución técnica de sociedades en las que las estructuras económicas, institucionales y técnicas se desarrollan de forma interactiva y cambian drásticamente en el largo plazo"²⁹.

Procesos que pueden ser incluso de mayor duración, como lo deja entrever Luis Sandoval, quien establece que "los ciclos centenarios tienen una duración de 100-110 años y son una unión de dos ciclos largos de Kondrátiev; están basados sobre todo en los cambios revolucionarios en el sector energía y abarcan al conjunto de la vida económica, política y social"³⁰.

²⁷ Bergh Van; C.J.M. Jeroen; Oosterhuis Frans, *An Evolutionary Economic Analysis of Energy Transitions*, Amsterdam, June 2005, Paper in Edition, p. 4.

²⁸ Las transiciones energéticas son cambios estructurales en las bases energéticas de una región, es decir, modificaciones en los combustibles que se usan como principal insumo en la economía y en la eficiencia que tiene para la producción.

²⁹ Pieterse W., "Geopolitics of Energy Transitions", en *Paper presented at the annual meeting of the ISA's 50th ANNUAL CONVENTION "EXPLORING THE PAST, ANTICIPATING THE FUTURE*, USA, New York Marriott Marquis, 2009.

³⁰ Sandoval Luis, *Los ciclos económicos largos Kondratiev*, Ponencia en las IX Jornadas de Economía Crítica. Pp 25

Asimismo, es conveniente mencionar que las transiciones energéticas son un proceso que lejos de ser mundial, es muchas veces limitado a un grupo de países o a uno solo; sólo después de que se ha logrado cambiar la estructura de dicho país o grupo de países, se empieza a transformar al del resto. Una transición energética se presenta cuando se muestra una clara superioridad del nuevo combustible, ya sea por su mayor capacidad de conversión en energía, por la facilidad de su transportación o por el desarrollo de la tecnología acorde con dicho combustible en los países en que la transición se llevó a cabo. Estas tecnologías se expanden por el globo, al menos a aquéllos capaces de pagarlas, trayendo en general un aumento neto en la cantidad de energía consumida.

Es difícil marcar épocas específicas de cuándo o cuáles fueron los hechos a partir de los que se pasa de una etapa a otra; es incluso difícil definir con certeza y sin discusión, en qué país inició la mayoría de las transiciones.

Se podría marcar, quizá como fecha simbólica más que real, el año de 1775, en el que James Watt patenta su máquina de vapor para marcar el inicio de la sustitución de la madera por el carbón; lo mismo que el año de 1908 para conmemorar el de la transición del carbón al petróleo, ya que fue en este año en que sale a la venta el Modelo T de Ford, es decir, el primer automóvil en masa, sabiendo que son los automóviles uno de los consumidores más importantes de petróleo. Claramente estas fechas no representan sino un largo proceso de avance de un combustible sobre el otro, proceso que tardó décadas en gestarse y todavía más en llegar a su cenit. En el afán de comprender mejor cual es la situación presente, es preciso clarificar las pasadas evoluciones del uso y producción de la energía, tomando como ejemplo un país que ha sido núcleo de dos de las transiciones energéticas en la historia de la humanidad.

Notemos también, que existen diferencias entre la forma en que se han dado las transiciones en los países centrales, es decir aquellos países industrializados que fueron los primeros en experimentar esta transición y los países periféricos o no industrializados que sólo en fechas recientes están cambiando los combustibles usados en la transformación de la energía.

En algunos casos, dadas las condiciones locales, las transiciones han sido diferentes, “brincándose” el uso del carbón, por ejemplo, o bien haciendo del carbón, aun en fechas recientes, su principal combustible, tal y como lo podemos observar en lo dicho por Marcotullio y Schulz³¹. Al respecto se han concluido cuatro aspectos fundamentales:

El primero es que las transiciones en los países en desarrollo suceden antes de alcanzar el mismo nivel de ingreso que EE. UU. Al respecto, Marcotullio expresó que “Antes: la aparición de importantes suministros de las compañías de energía más avanzadas, así como el consumo de productos energéticos en países en rápido desarrollo, aparece en niveles más bajos de PIB per cápita que en los EE. UU.”³².

El segundo es que las transiciones pasan en un menor periodo de tiempo, es decir, no se requiere de varias décadas, como sucedió en los EE. UU., para pasar del carbón al petróleo, sino apenas unos cuantos años. Siguiendo con Marcotullio, “más rápido: el suministro de energía de las compañías de energía más avanzadas y el consumo de productos energéticos en los países en rápido desarrollo demuestran una mayor

³¹ Marcotullio Peter J.; Schulz Niels B., *Comparison between Energy Transitions in the USA and Developing and Industrializing Economies*, World Development, Vol. 35. N.10, pp. 1650-1683.

³² *Ibid.* p. 1652.

pendiente que representa un crecimiento más rápido en el tiempo que el de los EE. UU. en rangos similares de ingreso”³³.

Asimismo, se concluyó que los diferentes tipos de combustibles y por ende tecnologías, conviven al mismo tiempo dentro del país, es decir, la biomasa es utilizada lo mismo que las celdas solares. “Simultáneamente: las compañías de energía y el consumo de diversos productos se reparten más equitativamente entre las tecnologías en países de rápido desarrollo y las transiciones entre ellos aparecen durante períodos más cortos a niveles similares a las gamas de PIB per cápita que en los EE.UU.”³⁴.

Finalmente, se estableció que la eficiencia se ve incrementada, cuando se compara la eficiencia que presentan los países en desarrollo a un nivel de ingreso dado en relación a EE. UU. cuando poseían el mismo nivel de ingreso. “Más eficientemente: el bajo nivel de suministro y consumo de energía durante los resultados del proceso de desarrollo económico en el consumo total de energía es más bajo, tanto en el desarrollo económico y un menor consumo de energía industrial para la producción industrial”³⁵.

1.6.1 Transiciones energéticas anteriores

A lo largo de la historia ha habido varias transiciones; la primera es aquella que llevó al hombre de recolector-cazador a agricultor, de igual importancia que el resto de las transiciones energéticas futuras; sin embargo, su estudio y puntualización quedarán obviadas dadas las particularidades del trabajo en cuestión.

Cada transición ha tenido características específicas que han afectado las costumbres y las actitudes de las civilizaciones y sociedades que las experimentan, especialmente en el transporte y en la industria. La primera transición generó el surgimiento de la locomotora y la producción en masa, el desarrollo de máquinas de vapor para todo uso, desde hiladoras hasta navíos, un incremento considerable en el comercio mundial y por supuesto el desplazamiento de la energía de flujos por la energía de stocks. La segunda transición marcó la era del automóvil, de los transportes más rápidos y eficientes, del plástico y todos sus derivados, de la movilidad individual y la democratización del transporte.

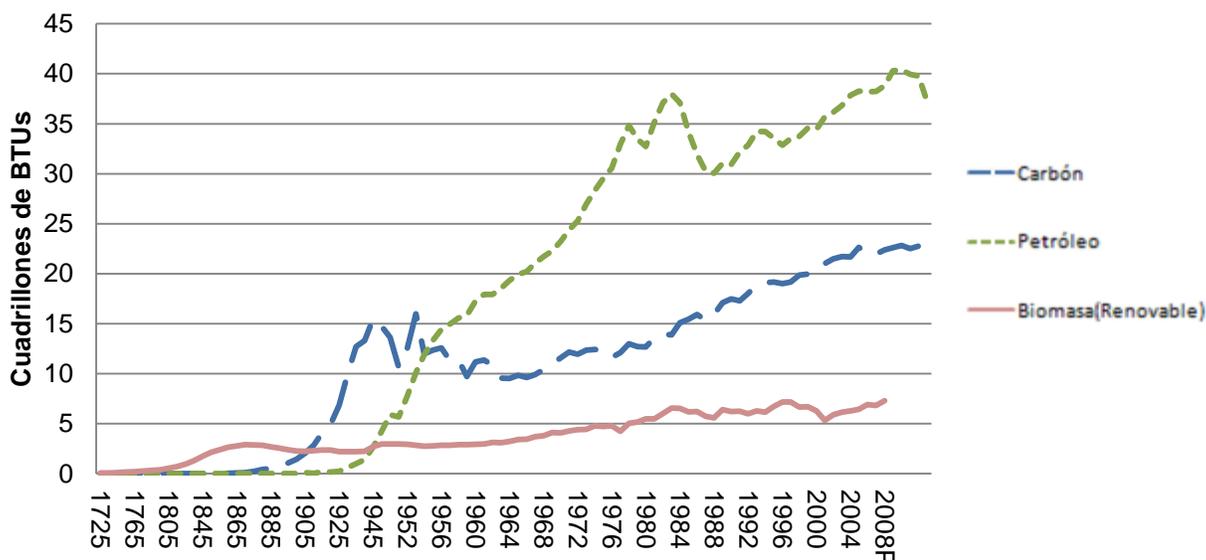
De ahí la importancia de adentrarnos en las características de cada una de ellas. En la ilustración 2 podemos observar el consumo de energía de diferentes combustibles para EE. UU., y lo tomaremos como marco introductorio para adentrarnos a las transiciones energéticas que se han presentado en el pasado.

³³ Íbid. p. 1662.

³⁴ Íbid. p. 1666.

³⁵ Íbid. p. 1667.

Ilustración 2 Consumo de Energía Primaria en EE.UU. por tipo de combustible de 1725 a 2008



Fuente: elaboración propia con datos de la Energy Information Agency de EE. UU.

1.7 Revolución industrial

La revolución industrial supuso un cambio fenomenal en el uso y la fuente de la energía obtenida; es considerada la primera gran transición en la base energética en el mundo y este cambio trajo consigo una verdadera revolución en todos los sentidos, tanto a nivel económico, social y ambiental, efectos que aun podemos sentir hoy en día.

Es importante observar que el país núcleo en el que se desarrolló, es decir Inglaterra, poseía, según Peter Pearson,³⁶ abundantes reservas de carbón y la necesidad de un combustible. Es quizá aventurarnos, pero podríamos asumir que, de haber existido la necesidad pero no la disponibilidad, la revolución hubiera tardado un poco más.

1.7.1 De la madera al carbón

Es difícil imaginarnos un mundo en el cual la inmensa mayoría de la energía que se utilizara proviniera de la madera, desde el combustible para cocinar nuestros alimentos hasta el necesario para calentar la casa; sin embargo, no hace demasiado tiempo esto era bastante común y tristemente, todavía es una realidad en parte del mundo subdesarrollado.

³⁶Pearson Peter; Fouquet Roger, "A thousand years of energy use in the United Kingdom", en *The Energy Journal*, 1998, 19 de abril.

En este sentido y como ya se mencionó, analizaremos la experiencia de Estados Unidos de Norteamérica. La razón es la facilidad y abundancia de las estadísticas, mismas que se vuelven vitales en el proceso de construcción de una idea; un segundo aspecto que hace idóneo acercarnos más a este país es su ubicación en una zona a la cual pretendemos estudiar con más detenimiento en capítulos posteriores; y finalmente, el último aspecto que lo vuelve idóneo, es el hecho de que actualmente es el mayor consumidor mundial de petróleo, el combustible dominante en la actualidad y del que se espera se dé una transición en un momento futuro.

La humanidad usaba, desde mucho tiempo antes de esta transición, el carbón de manera más o menos regular; hay registros de que en el año 100 antes de Cristo su uso estaba difundido y se afirma, por ejemplo, que también los indios Hopi lo utilizaban en sus ritos y para cocinar ciertos alimentos.³⁷ Si esto es así, habrá que entender cuáles fueron las razones por las que el carbón no llegó a ser el combustible principal en la economía sino hasta el siglo XVIII.

Es lógico concluir que no basta conocer la existencia de un combustible para su aplicación extensiva en toda la economía; se requiere también de incentivos correctos en los precios, innovaciones oportunas que aprovechen esa enorme cantidad de fuerza disponible y por supuesto, reservas lo suficientemente abundantes que permitan un crecimiento sostenido de la oferta y con precios decrecientes, tal como lo discutimos en el apartado de marcos de análisis.

La transición al carbón se dio en Reino Unido, las razones son muchas; probablemente como lo señala Peter Pearson, el encarecimiento de la madera y de los animales de carga impulsó al ingenio humano al desarrollo de maquinaria, el desarrollo de la misma incrementó la producción y generó la necesidad de expandir el comercio, es decir, incrementó los incentivos para un medio de transporte rápido y capaz de trasladar grandes cantidades de mercancías.

Es importante aclarar que aunque se considera que el país núcleo en el que sucedió esta transición fue Gran Bretaña, los EE. UU. pronto recibieron su influencia, dados sus lazos políticos y culturales. Esta revolución en la producción de la energía, rápidamente llevó a los norteamericanos a la misma situación, pese a que claramente sus condiciones eran totalmente distintas, ya que no carecían de recursos forestales como en Reino Unido.

La madera y el resto de las otras fuentes de energía requerían, por necesidad, la existencia de fuentes de abastecimiento cercanas; dada esta limitante, el costo de la madera por ejemplo tendía a incrementarse de manera importante conforme se alejaba del lugar de producción, ya que los medios de transporte eran muy rudimentarios, pues en su mayoría eran carretas y animales de carga incapaces de llevar más de 200 kg por viaje.

Además, dada la baja densidad calorífica de la madera por unidad de peso, se requerían de numerosos viajes para lograr abastecer un solo hogar para el invierno. Esto hacía que el precio de la leña en las ciudades fuera bastante alto, tal y como lo menciona Pearson³⁸.

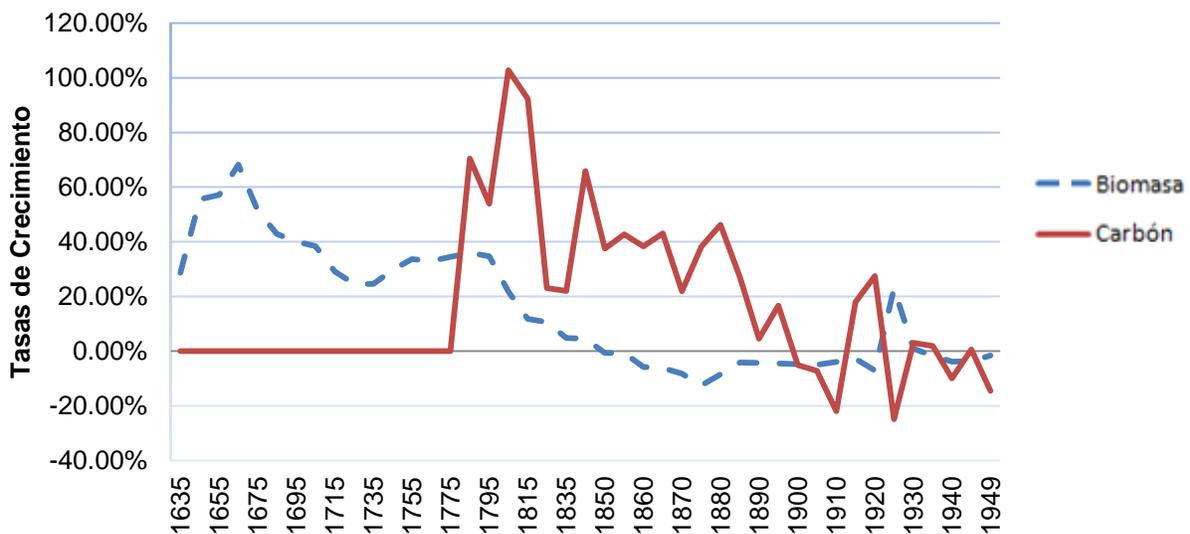
En la Ilustración 3 podemos observar las tasas de consumo de 2 tipos de combustibles en EE. UU., el carbón y la biomasa, es decir, la leña y la madera. A partir de

³⁷ Ibid. p. 14.

³⁸ Ibid. p. 12.

la introducción del carbón, la leña fue teniendo ritmos de crecimiento cada vez más lentos: de 1825 a 1900, la tasa promedio de crecimiento del uso del carbón fue de 50.12% anual comparada con la de la madera que apenas creció en promedio un 6.87%. También podemos apreciar que a partir de 1900, año en que el petróleo cobra fuerza, hasta 1950, la tasa de crecimiento promedio del consumo del carbón fue de 9.50% en comparación con la de la biomasa que decreció a una tasa de -2.8%.

Ilustración 3 Tasas de crecimiento del consumo del carbón y la leña 1645 a 1950



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

Si bien la tasa de crecimiento fue disminuyendo para EE. UU. después de 1900, existen autores, como Smil Vaclav, que afirman que la caída en las tasas de crecimiento del carbón se dio en Norteamérica casi medio siglo antes que en cualquier otra parte del mundo³⁹.

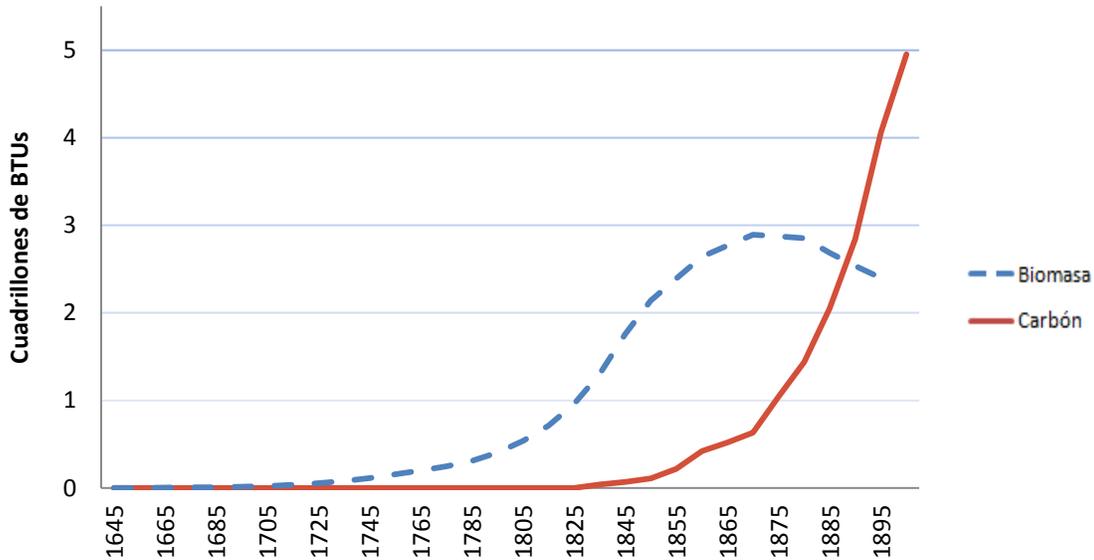
En términos absolutos, podemos observar en la ilustración 4, que en 1875 la leña deja de ser el principal combustible de la Unión Americana, lo cual nos da un indicio de que las últimas dos transiciones han ocurrido en un periodo de tiempo verdaderamente corto, ya que el carbón empieza a tener participación en la provisión de energía sólo a partir de 1775, es decir, 100 años le llevó al carbón convertirse en la fuente principal de energía.

El caso del petróleo es similar, pues para 1975, después de los choques petroleros y la predicción cumplida de King Hubbert acerca de la llegada de EUA al tope de su producción, se empieza a hablar de una nueva transición como algo deseable, tal y como lo podemos observar en algunas publicaciones de divulgación científica como National

³⁹ Smil V., “Energy in the 20th century: resources, conversions, costs, uses, and consequences”, en *Annual Review of Energy and the Environment*, 25:21-51, 2000, 31 p.

Geographic⁴⁰, que analiza algunos de los posibles sustitutos del petróleo, entre los que destaca la energía nuclear, considerando no los efectos negativos que el petróleo le ocasiona al ambiente, sino mas bien preocupados por las limitantes en la oferta y las reservas globales.

Ilustración 4 Consumo de Energía Primaria en EE. UU. por tipo de combustible de 1645 a 1895



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

1.7.2 Del carbón al petróleo

El paso de una economía basada en el carbón a una basada en el petróleo tardó algunos años en concretarse, ya que el carbón es un combustible con muchas cualidades, tanto así que aún se sigue usando e incluso se asume que podría ser el combustible de transición entre el petróleo y las energías “limpias”⁴¹. Sin embargo, al igual que el resto de los combustibles que le precedieron, presenta deficiencias que el petróleo no tenía o al menos parecía no tener.

En primer lugar, el carbón es un combustible con una menor energía calorífica por unidad de peso, es más difícil de transportar pues no presenta las ventajas del combustible líquido y su capacidad para ser transportado en ductos; además, es mucho más contaminante que el petróleo por unidad térmica (BTU) consumida y sus usos están

⁴⁰ National Geographic, Energy, Febrero 1981.

⁴¹ De la Vega Navarro Ángel, “Canadá y México: seguridad energética como disyuntiva”, *Energía a Debate*, año 3, tomo III, no. 28, México, diciembre 2006.

más limitados pues requiere de una mayor transformación para ser convertido en otros materiales, lo que implica un mayor costo por ejemplo para fabricar resinas o aceites.

De hecho, hoy en día el comercio del carbón se halla mucho más limitado geográficamente que otros energéticos⁴² pues sólo el 17% de la producción total de carbón se dirige a países ajenos al lugar donde se produjo. Todo ello en contraste, por ejemplo, con el petróleo, del cual casi el 62% tuvo como fin un lugar distinto al lugar donde se extrajo. Es probable que esto se deba a dos causas principales: en primer lugar, las reservas de carbón se hallan mejor repartidas entre los países que las de otros combustibles como el gas o el petróleo; en segundo, los costos de transporte representan una gran parte del total del precio y aunque esto ha buscado subsanarse al dividir el comercio del carbón en dos zonas geográficas: el mercado Trasatlántico y el mercado del Pacífico, el efecto del precio hace que conforme se aumenta la distancia sea más conveniente sustituir al carbón con algún otro tipo de fuente energética.

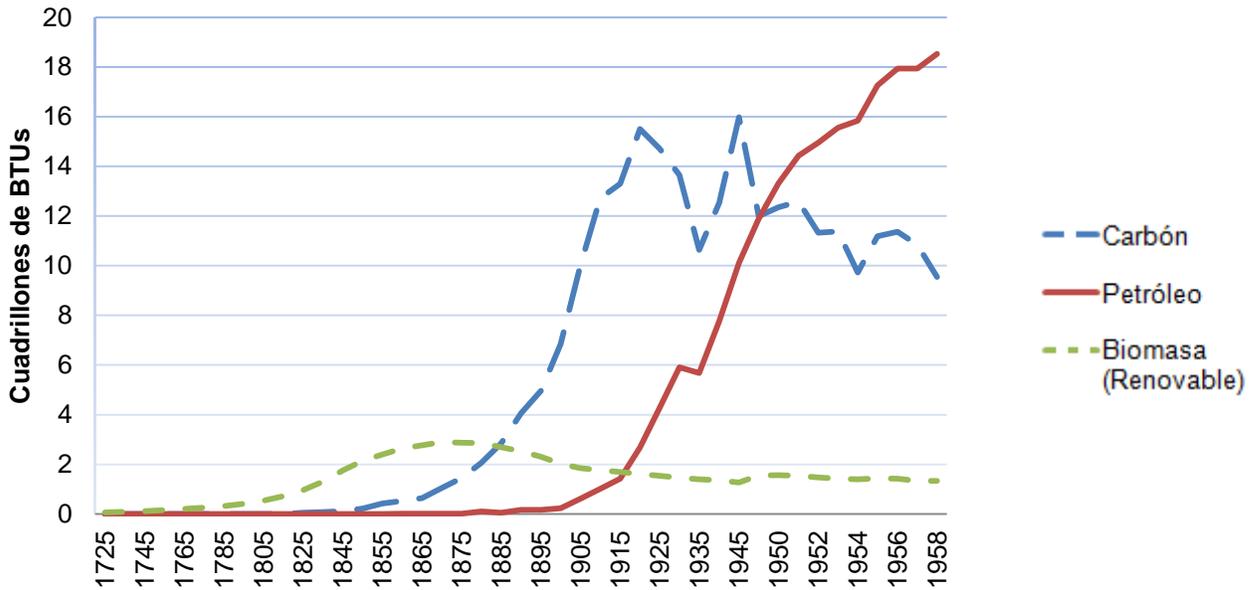
La sustitución o el reemplazo del carbón por el petróleo distó mucho de ser inmediato; no fue sino hasta que se desarrollaron las estructuras y las innovaciones necesarias, que el petróleo comenzó a ser usado ampliamente y no sólo en la gama original de usos que había tenido, que escasamente incluían combustible para lámparas y lubricantes.

El despegue definitivo del petróleo no llegó por supuesto con su descubrimiento ni con el escaso uso que se le dio en primera instancia. Fue quizá otro adelanto de la época el que lo llevó finalmente a ser usado como el combustible definitivo de una era: el automóvil. El automóvil significó una necesidad de petróleo en varios ámbitos: en primer lugar como combustible, como lubricante y algún tiempo después, cuando se desarrolló el caucho sintético, en la forma de llantas y molduras hechas de plástico.

No obstante, en términos absolutos el carbón no ha mermado su contribución a la energía, tal y como lo observamos en la ilustración 2. Si observamos con detenimiento la ilustración 5, que corresponde al consumo de energía primaria de 1725 a 1958, veremos que en términos absolutos, el petróleo sólo alcanzó a superar al carbón en su participación total en la energía hasta mediados del siglo XX y esto para el país núcleo. Es altamente probable que en otros países dicho cambio fuera hasta varias décadas después.

⁴² World Coal Institute, II 2009."Informe Trimestral

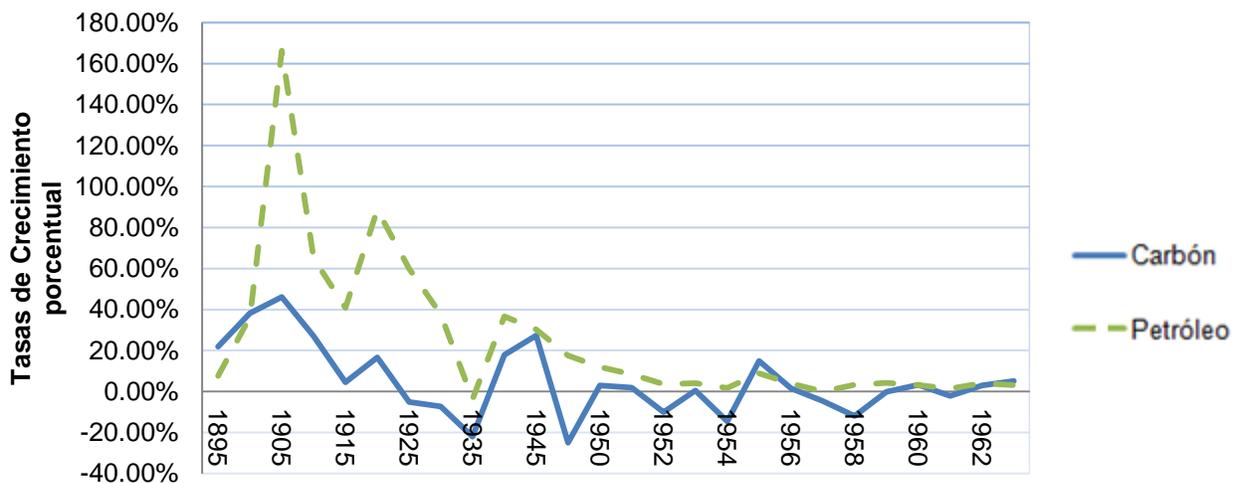
Ilustración 5 Consumo de Energía Primaria en EE. UU. por tipo de combustible de 1725 a 1958



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

En la ilustración 6 observamos las tasas de crecimiento, tanto del carbón como del petróleo, sucediendo algo muy similar a lo que pasó en la primera transición, en la cual, en un primer periodo, las tasas del petróleo son mucho más altas que las del carbón, para posteriormente ir convergiendo, siendo la tasa de crecimiento promedio del carbón hasta 1960 de 5.4% comparada con la del petróleo que fue de alrededor de 27.6% anual.

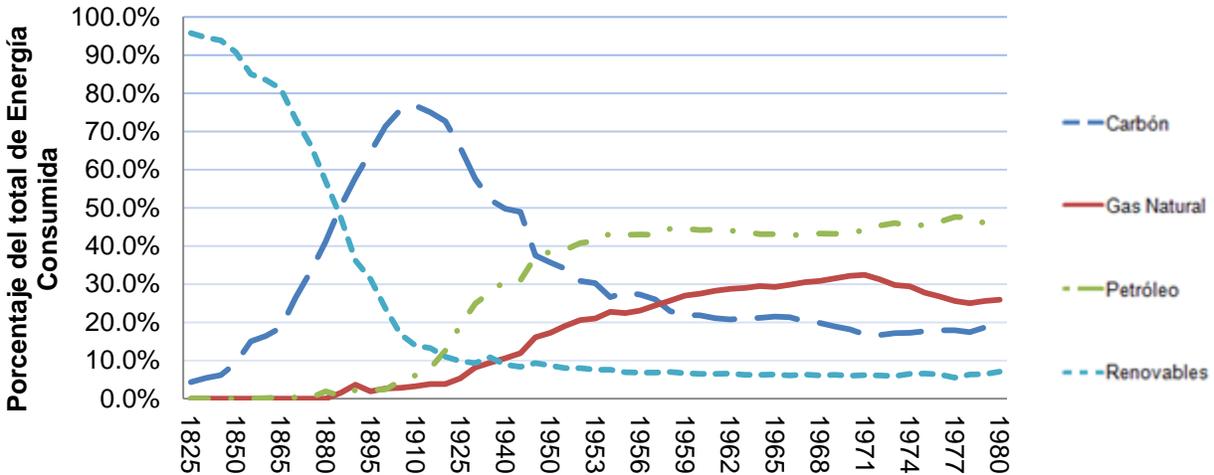
Ilustración 6.- Tasas de Crecimiento del Petróleo y el Carbón de 1890 a 1965



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

En la ilustración 7 se muestra la participación relativa de cada combustible en la economía; la tendencia muestra una diversificación en el consumo de combustibles.

Ilustración 7 Porcentaje del total de Energía consumida en EUA por tipo de Combustible de 1825 a 1980



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

Es conveniente afirmar que en ninguno de los casos estudiados, se ha dado una sustitución total de un combustible por otro, ya que en todos los casos el combustible más antiguo e ineficiente sigue participando en la economía con la misma cantidad de BTUs en términos absolutos, es decir, si bien su participación en el total de la economía se reduce, en realidad su contribución a la energía sigue siendo la misma que en sus momentos de mayor auge.

Su participación per cápita disminuye, debido al crecimiento de la población, pero en términos absolutos se puede decir que hoy en día se consume más biomasa (leña, madera) y carbón que en sus respectivos momentos en donde dominaban todo el panorama energético.

1.8 Cambios tecnológicos en la industria de la energía

En torno a las transiciones energéticas, los cambios tecnológicos en la industria de la energía son, sin duda, uno de los tópicos más importantes; estos cambios se han dado probablemente a la par que en otras industrias, tanto en el perfeccionamiento de las técnicas como en mejoras en la eficiencia de energía transformada.

Las razones del porque se dan cambios en el sector energético son, en general, las mismas que en todas las otras ramas de la industria, dependen de la inversión y el ingenio humano, aunque a diferencia de otras ramas donde la eficiencia puede aumentar prácticamente a niveles aún desconocidos, en la rama de la energía la eficiencia se halla

limitada por las leyes de la termodinámica, es decir, si se requiere transformar más energía, es necesario cambiar de un combustible con una menor cantidad de BTU por unidad de peso a uno con una mayor cantidad de BTU para lograr dichos avances.

El debate acerca del cómo y el porqué se dan estos cambios es bastante amplio y si bien su profundización sería imposible por razones de espacio y tiempo, es necesario por lo menos dar un esbozo general que nos permita, por un lado, entender la tendencia, no sólo desde un punto de vista histórico sino también teórico.

No basta asumir que la sustitución de combustibles se da por un cambio en los precios relativos, hay que considerar que las políticas públicas, las limitaciones en la oferta, los cambios tecnológicos e incluso la geopolítica⁴³ juegan un papel igualmente primordial al momento de la sucesión de un combustible a otro.

Es por lo tanto importante mencionar los modelos y marcos de análisis básicos que han sido usados por otros autores para comprender y explicar el porqué suceden las transiciones energéticas.

1.9 Perspectivas y modelos sobre las transiciones energéticas

Existen otros muchos modelos o perspectivas que tratan de exponer cuales son las motivaciones que impulsarían el cambio tecnológico hacia economías que sean menos dependientes de recursos no renovables. Tal es el caso del artículo de Stephen G. Powell y Shmuel S. Oren⁴⁴, quienes a partir de un modelo basado en la planificación social, llegaron a la conclusión de que no bastará simplemente que los precios de los recursos no renovables sobrepasen a los renovables, sino que también se requerirá un marco social de fomento a estos últimos. O la perspectiva de W. Pieterse quien le atribuye a la geopolítica un papel fundamental al momento de acelerar el cambio de un combustible a otro por razones geoestratégicas, tal como se muestra en Europa, donde el aumento en el uso de combustibles limpios, más que una preocupación por el medio ambiente, es visto por muchos como una forma de asegurarse independencia sobre el gas ruso y el petróleo árabe.

1.9.1 Modelo de sustitución serial y energética de escalera

El modelo de sustitución serial y energética de escalera, concebido originalmente por Richard H. Hosier y Jeffrey Dowd, asume que la sustitución de un combustible a otro se da principalmente por la mayor eficiencia de uno sobre el anterior cuando la población alcanza un cierto nivel de ingreso. Hasta el momento, la historia energética pareciera seguir dicha tendencia, ya que la madera es de menor eficiencia que el carbón y el carbón a su vez es de menor eficiencia que el petróleo. En un análisis prospectivo, se considera

⁴³ Pieterse W., "Geopolitics of Energy Transitions", en *Paper presented at the annual meeting of the ISA's 50th ANNUAL CONVENTION "EXPLORING THE PAST, ANTICIPATING THE FUTURE*, USA, New York Marriott Marquis, 2009.

⁴⁴ Stephen G. Powell; Shmuel S. Oren, *The Transition to Nondepletable Energy: Social Planning and Market Models of Capacity Expansion*, Ed. Operations Research, Vol. 37, No. 3 (May - Jun., 1989), pp. 373-383.

que el hidrógeno podría sustituir al petróleo, ya que el hidrógeno es de mayor eficiencia y menos contaminante.

No obstante, para algunos especialistas, entre los que destacan Kander, Wander y Malamina⁴⁵, el modelo de sustitución serial y energética de escalera es bastante lineal, pues opinan que este modelo deja de lado otras razones, causas y complicaciones en el tema de la transición, al no endogeneizar la tecnología como un factor determinante en la elección de energéticos.

1.9.2 Modelo de desarrollo tecnológico en bloque

El modelo de desarrollo tecnológico en bloque propuesto por Erik Dahmén asume la complementariedad del sector que genera un primer desarrollo tecnológico al surgir también un desarrollo en los transformadores de energía, es decir, es la maquinaria lo que hace que una sociedad se decida por un tipo de combustible sobre otro; en ese sentido, no es la eficiencia en sí lo que se toma en cuenta, sino el desarrollo central y los complementarios lo que permite ampliar el uso.

La experiencia pareciera afirmarlo, ya que el automóvil de combustión y el eléctrico aparecieron más o menos simultáneamente; sin embargo, el desarrollo de innovaciones paralelas en la perforación de pozos, en la refinación, en el transporte y en la disponibilidad del petróleo en Norteamérica, marcaron definitivamente el destino y le dieron la ventaja al automóvil de gasolina sobre el eléctrico. El modelo en su versión completa pareciera abarcar ciertos aspectos interesantes de las razones del porqué se escoge un combustible sobre otro.

1.9.3 Modelo de análisis evolutivo

El modelo de análisis evolutivo es un marco multidisciplinario de estudio que asume como premisa inicial que el sujeto es racional pero limitado, tal y como lo expresa Jeroen Van den Bergh en el siguiente párrafo:

“El concepto de racionalidad limitada significa que los agentes no están plenamente informados y no se incluyen todas las posibilidades en sus consideraciones para la realización de cualquier acto de comportamiento económico”⁴⁶.

Estas limitantes generan heterogeneidad y diversidad en las estrategias que los agentes siguen, lo que en general produce que existan una multitud de posibilidades de generar innovación; a mayor diversidad, mayor es la posibilidad de encontrar una innovación adecuada que permita la continuidad del sistema. El enfoque clasifica a las innovaciones en radicales e incrementales; las primeras son las que generan cambios en

⁴⁵ Kander Astrid; Malanima Paolo; Warde Paul, *Energy transitions in Europe: 1600-2000*, ed. CIRCLE, Electronic Working Paper Series 2008/12, 29 p.

⁴⁶ Bergh Van; C.J.M. Jeroen; Oosterhuis Frans, *An Evolutionary Economic Analysis of Energy Transitions*, Amsterdam, June 2005, Paper in Edition, p. 9.

la estructura y las segundas, las que reafirman la estructura productiva al generar invenciones paralelas.

La diversidad se reduce a través de la selección, no de una innovación única, sino de toda aquélla suficientemente apta. En algunos casos, los cambios siguen un patrón de dependencia, es decir, se generan desarrollos técnicos incrementales que no permiten la ruptura de la estructura pese a que existen invenciones más eficientes.

De tal modo, el fundamento del modelo se basa en la diversidad y en la selección de innovaciones dentro de la diversidad generada por la racionalidad limitada.

1.10 Conclusiones preliminares

Hay una clara relación entre la economía y la energía; dicha relación está medida por la capacidad que tiene una sociedad para transformarla en trabajo, en bienes y en servicios.

Conforme se ha logrado disponer y utilizar de más energía, las sociedades se han vuelto complejas y caóticas, y al mismo tiempo se han vuelto adictas a la búsqueda de más energía. Son estas necesidades lo que ha generado las llamadas transiciones energéticas.

Estas transiciones energéticas definen, no sólo cual será el combustible principal a usar por la mayor parte de la sociedad, sino también cualitativamente, usando cada vez más energía para actividades recreativas, como viajar, iluminar y entretener.

Esto quiere decir que el uso de un combustible desarrollará toda una gama de nuevas actividades y de nuevas industrias pero al mismo tiempo, disminuirá el empuje o el crecimiento de las empresas relacionadas con el combustible anterior.

Otro punto importante a tomar en cuenta para todo este trabajo, es el hecho de que no importa si otro combustible se vuelve dominante dentro de la economía, el energético anterior no dejará de ser usado y se mantendrá su uso de manera paralela, lo que, como ya se mencionó, no significa que no vaya a tener efectos negativos o de transformación en las industrias que tenían como base el anterior combustible.

2 Capítulo II: El sector energético en la región de Norteamérica

*Un presidente asesinado por una gota de petróleo,
una hipoteca de millones de hectáreas,
un fusilamiento rápido en una mañana mortal de luz, petrificada,
un nuevo campo de presos subversivos en Patagonia,
una traición, un tiroteo bajo la luna petrolada,
un cambio sutil de ministros en la capital,
un rumor como una marea de aceite, y luego el zarpazo,
y verás como brillan, sobre las nubes, sobre los mares,
en tu casa, las letras de la Standard Oil iluminando sus dominios.*

Pablo Neruda

El objetivo de este capítulo es, en primer lugar, mostrar las disparidades y semejanzas entre cada uno de los países de la región en lo referente al sector energético; se analizará también el comercio de petróleo que se establece entre ellos, destacando la enorme fuerza de atracción de EE.UU.

Se estudiará la dependencia energética de la zona y sus causas, así como el efecto que puede tener esta dependencia en la decisión de impulsar en mayor medida la sustitución de combustible en el transporte, con el fin de eliminar esta tendencia.

Se establecerá un cuadro general de cuál es la situación actual del sector energético, especialmente el de hidrocarburos, poniendo énfasis en la producción, el consumo y las reservas actuales, así como en el marco legal de fomento a la investigación en cada uno de los países,

Este análisis muestra las enormes disparidades que existen tanto en producción, consumo, eficiencia y por supuesto, en las políticas implementadas en la búsqueda de la sustitución del petróleo como combustible primordial en el sector transporte.

2.1 Características energéticas de la región de Norteamérica

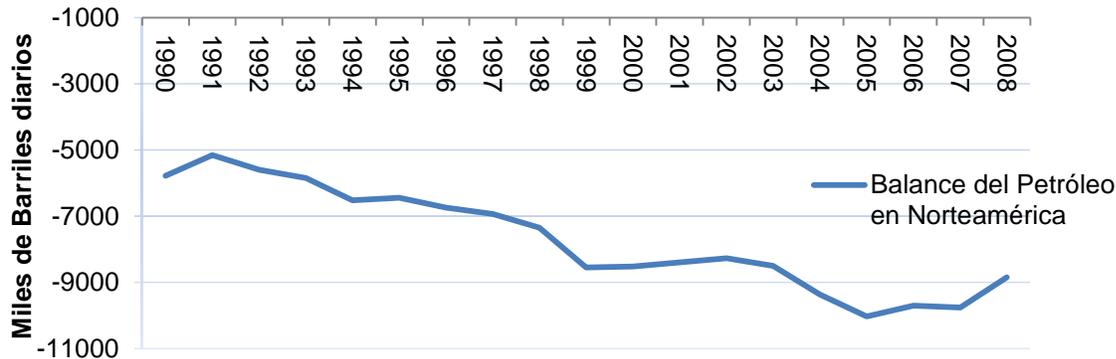
Pese a los abundantes recursos, la región no es autosuficiente en petróleo. Su alto consumo y la imposibilidad de extraer a su máxima capacidad en ciertas zonas, hacen de ella una zona con un déficit crónico por lo menos desde 1980, tal y como se muestra en la siguiente ilustración, en la que se aprecia el balance entre el consumo y la producción de petróleo en la zona, con un déficit al 2008 de alrededor de 9 millones de barriles diarios.

Mas esto no significa que los tres países de la zona sean deficitarios, ya que como se observará más adelante en este capítulo, Canadá y México son productores netos, es decir, son los EE.UU. el país que provoca que existan estos déficits.

En la ilustración 8 podemos observar el balance de la región con respecto al mundo; toda cantidad negativa se considera un déficit., es decir, las importaciones fueron mayores que las exportaciones.

En todo caso, es necesario resaltar que el déficit representa casi el 110% de lo que actualmente produce los EE.UU., lo que nos habla de una enorme cantidad de petróleo que se importa.

Ilustración 8 Balance del petróleo en Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004, EIA 2010

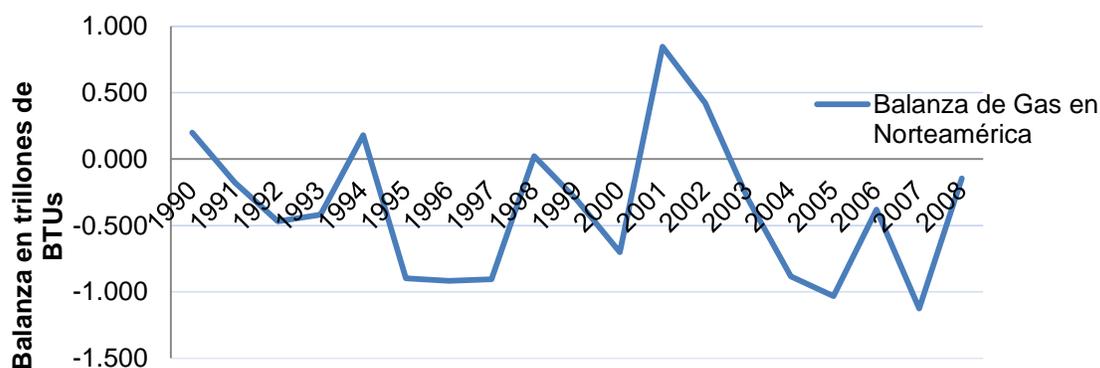
Por lo tanto, los excedentes en la producción de petróleo de Canadá y de México son insuficientes para compensar el enorme déficit norteamericano; esta incapacidad de ser autosuficientes ha permeado hondo en la política y la sociedad de los EE. UU. que incluyen con insistencia en su política energética a todos niveles, la búsqueda de autarquía petrolera; aunado a esto, los EE.UU. impulsan de manera decidida una transición energética, por medio de subsidios y apoyo a la investigación.

En el caso del gas natural, la región presenta superávits esporádicos con un persistente aunque pequeño déficit en el resto de los años, tal como lo observamos en la ilustración 9, lo que nos habla de nueva cuenta de una debilidad para satisfacer la demanda con recursos propios. El único país que produce un excedente en la zona es Canadá, el cual en el 2007 consumió sólo la mitad de lo que produjo; mientras que los otros dos países son importadores netos, en donde si bien el déficit no ha sido continuo, si se ha presentado y es bastante frecuente.

Esta situación nos hace cuestionarnos si el gas natural sería una opción viable como combustible alternativo desde el punto de vista de la política pública o geopolítica, ya que en todo caso, el desarrollo de un sistema de transporte basado en gas natural no resuelve el problema de la autosuficiencia norteamericana. Para el caso mexicano, el uso del gas significaría un incremento en el déficit de la balanza comercial.

Es importante considerar este punto, ya que como se analizará en el capítulo 4, el automóvil que funciona con gas natural es uno de los más fuertes candidatos impulsados por las armadoras, que ven en él al auto ciudadano; de alta eficiencia, baja velocidad y relativamente económico comparado con otros desarrollos actuales.

Ilustración 9 Balanza de gas en Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004, EIA 2010

El carbón es quizá la única fuente en la cual Norteamérica ha tenido un superávit constante desde 1990, salvo en 2003, como lo observamos en la ilustración que sigue; sin embargo, los superávits son cada vez menores y nos hacen pensar que en un futuro próximo esta situación se vea revertida, especialmente ante el incremento en las regulaciones para la producción de carbón en minas al aire libre, como la Ley de Aire limpio de los EE. UU., la cual sufrió modificaciones precisamente en 1990⁴⁷ o la Ley de Fuera carbón de Canadá⁴⁸, que restringe la explotación de minas a cielo abierto, no tanto por la disminución de reservas.

La importancia del carbón para el transporte radicarán, no en su uso directo, el cual pertenece más a la antigüedad en las locomotoras o al futuro con licuefacción del carbón, que aún se encuentra en estado de pruebas y lo ha estado desde los años 80⁴⁹, sino a la producción de electricidad. Es bien sabido que actualmente las centrales termoeléctricas aun están en uso en muchas partes de la región, si bien ya no son construidas en la actualidad, siguen produciendo la mitad de la energía eléctrica de la región y son la principal fuente de energía eléctrica.⁵⁰

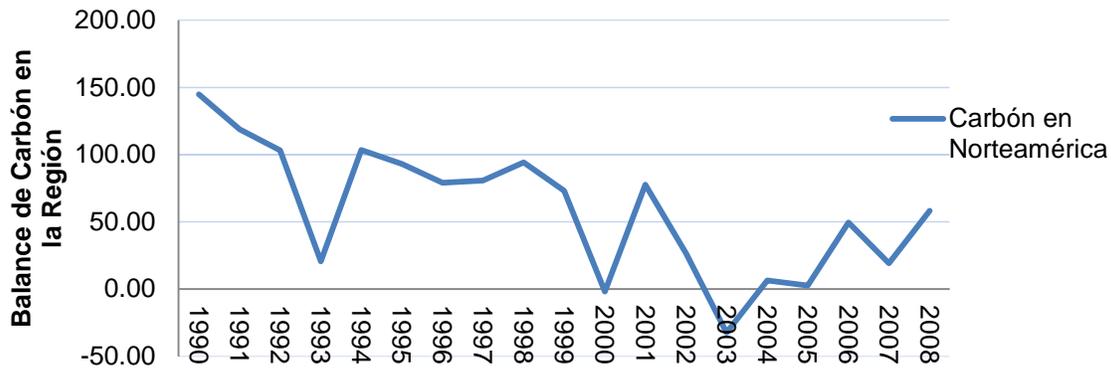
⁴⁷“Cap and Trade Legislation would kill coal industry”, Congressman Says, Thursday, 2 de abril de 2009.

⁴⁸“Ontario's Coal Phase-out Will Have Drastic Consequences”, Say The Thinking Companies, Wednesday, 16 de febrero de 2005.

⁴⁹ S/ autor, “A special report in the public interest energy”, en *National Geographic Society*, Washington, Febrero de 1981. 96 p.

⁵⁰ Salvo en el caso de Canadá, que utiliza la energía hidráulica como principal fuente de electricidad.

Ilustración 10 Balance del carbón en Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

De los tres países, EE. UU. y Canadá son exportadores netos de carbón, siendo México un pequeño importador y EE. UU. el país que produce casi la totalidad del carbón que consume México.

La disminución en la producción ha sido causada por los controles ambientales más severos sobre las minas de carbón, especialmente las de cielo abierto y sus tierras circundantes, ya que en la región siguen existiendo grandes reservas sin explotar.

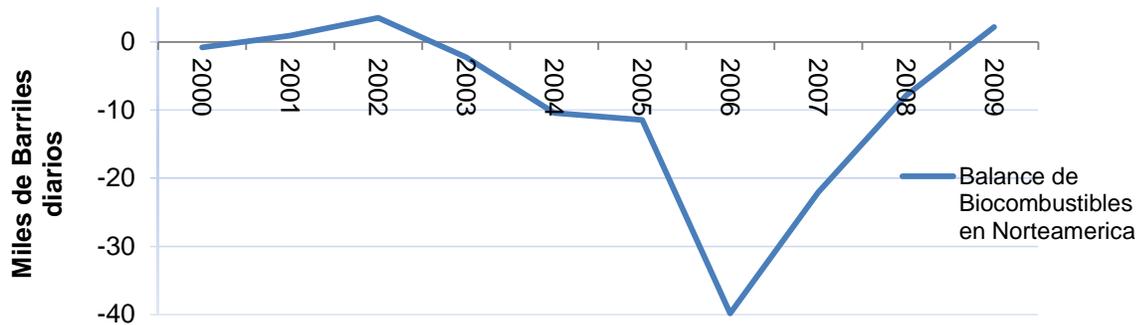
Y no se ha presentado déficit gracias a que al mismo tiempo que la producción disminuyó, han existido reducciones en el consumo provocadas por controles más severos en la producción de electricidad en plantas termoeléctricas en Canadá y EE. UU.⁵¹, y a una política de estado en México que ha buscado fomentar la producción de electricidad con plantas de gas de ciclo combinado⁵² en lugar de las tradicionales termoeléctricas.

En el caso del otro combustible que se perfila como posible sustituto, el biocombustible, presenta el mismo problema que casi todos los demás combustibles: la producción interna es insuficiente, tal y como lo podemos observar en la siguiente ilustración.

⁵¹ *Energy Policies of IEA Countries: Canada 2004*, IEA, (Energy Information Administration), p. 46.

⁵² Bazán Perkins Sergio D.; Fernández Zayas José L., "Evaluation of México's 1975–2000 energy plan", *Energy Economics* 30, 2008, pp. 2569–2586.

Ilustración 11 Balance de Biocombustible en Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

Hay varias causas para que esto suceda:

- 1) La falta de producción de grano suficiente para satisfacer las demanda alimenticias de México y de Canadá.
- 2) El insuficiente número de plantas de gran tamaño productoras de Biocombustibles (más de 5000 barriles diarios), ya que la mayoría se encuentran en los EE.UU. y aun ahí son considerablemente más locales.
- 3) La necesidad de la empresa de funcionar a base de subsidios y apoyos gubernamentales.

En todo caso, la conclusión obvia es que el biocombustible no representará una solución si el objetivo buscado por los gobiernos con la transición energética es independizar su producción energética.

2.2 El comercio energético en la región

Con respecto al tema de los energéticos, la interrelación entre los tres países se presenta a través del comercio de energéticos: petróleo, gas y electricidad especialmente, ya que aún no hay un comercio substancial de biocombustibles entre Estados Unidos, Canadá y México. El fenómeno del comercio de combustibles es un proceso no muy reciente, que sólo hasta últimas fechas ha cobrado importancia por su volumen, su valor y el hecho de que hay múltiples interconexiones directas de oleoductos y líneas conductoras de electricidad, lo cual ha fomentado, o al menos en parte, la conformación de una zona de libre comercio⁵³, al mismo tiempo que es un requisito infranqueable el contar con una infraestructura regional.

El comercio intrarregional de energía había sido de poca importancia hasta un poco después de los años 70, debido principalmente a que el contexto de desarrollo había

⁵³ Es muy discutible hablar de un cambio estructural en lo referente a comercio de energéticos en 1994, tal y como lo menciona Rosío Vargas, sin embargo, podemos hablar de un afianzamiento e institucionalización de las relaciones comerciales por medio de acuerdos específicos y aspectos legales.

permitido que cada país satisficiera, de manera más o menos autónoma, sus necesidades y el excedente generado era enviado a otras zonas del mundo como Europa o Asia.

Es después de que EE. UU. alcanzara el tope de la producción de petróleo, y de que las reservas de petróleo mexicanas aumentaran drásticamente tras el descubrimiento de los súper yacimientos de Cantarel y Chack Mool, que el comercio de energía norteamericano empieza a cobrar una alta importancia entre México y los EE. UU. Por su parte, el comercio con Canadá en cuestión petrolera era más limitado, en cuanto a que la producción de Canadá era menor a la mexicana y su consumo más alto, no es sino hasta el descubrimiento de arenas bituminosas, es decir, petróleo pesado en Alberta, que el comercio entre EE. UU. y Canadá comenzó a intensificarse.

Por otro lado, si bien el comercio de petróleo entre Canadá y los EE. UU. sólo toma impulso a partir de finales de los 90, el comercio de electricidad entre los dos países es mucho más amplio, teniendo un fuerte intercambio desde los años 70, momento en el cual se inicia la interconexión de tendidos eléctricos⁵⁴.

Es muy importante destacar que la entrada en vigor del TLC no fue un hecho que afectara en gran medida al comercio de energéticos, pues ya para 1990, gran parte de los productos energéticos no pagaban aranceles ni tenían permisos de importación, y por supuesto, tampoco tenían cuotas⁵⁵.

La existencia del capítulo VI y los artículos 601 al 609 del TLC y la existencia de un capítulo similar en el tratado de Canadá y EE. UU. responden en parte, al hecho de que México buscaba dejar en claro las limitaciones a la inversión y a la producción en su territorio, marcando dentro de dicho capítulo que existía un dominio del estado sobre el subsuelo y sobre los recursos energéticos, y estableciendo que México posee el derecho de conservar los monopolios estatales en la comercialización de energía eléctrica y petroquímica.

Sin embargo, el tratado sí facilitó y amplió las tendencias que ya se venían presentando en las estructuras de producción de energía de los países miembros: la liberalización en el control de precios, misma que ocurrió en Canadá y EE. UU.; la tendencia privatizadora y descentralizadora, tal como ocurre en México, que aseguraba que las inversiones extranjeras en dicha rama no se verían comprometidas, es decir, otorgaba estabilidad a las inversiones a largo plazo.

En el caso particular de México, la legislación fue cambiando, no en las leyes principales sino en leyes secundarias: en reglamentos y normas, de tal manera que se ha incrementado la participación de capital privado extranjero gracias a los contratos de servicio múltiple y a los Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo (PIDIREGAS).

En general, la zona de Norteamérica es uno de los grandes consumidores mundiales de energía y pese a sus enormes recursos, también es importadora neta, esto debido a EE. UU. y sus hábitos de consumo, pues los otros dos países son exportadores netos, especialmente Canadá, el cual exporta petróleo, carbón, gas natural y electricidad a su vecino del sur.⁵⁶

⁵⁴ De la Vega Navarro Ángel, "Canadá y México: seguridad energética como disyuntiva", *Energía a Debate*, año 3, tomo III, no. 28, México, diciembre 2006.

⁵⁵ Vargas Rosío; Valdés-Ugalde José Luis, op. cit. p. 119.

⁵⁶ Tal y como lo observamos en las gráficas 4, 5 y 6, en donde se muestra qué país posee superávit y cuál déficit en consumo de energía.

Con respecto al petróleo, tanto Canadá como México contribuyen a subsanar el déficit que EE. UU. posee; sin embargo, su participación en el total de importaciones llevadas a cabo por los EE. UU. es aún muy baja. En la siguiente tabla podemos observar el comercio intra-región en dos años distintos dentro del periodo de estudio.⁵⁷

Tabla 1 Comercio al Interior de la Región en 2000 y 2008

2000				2008			
Millones de Toneladas de petróleo	Importadores			Millones de Toneladas de petróleo	Importadores		
	EE. UU.	Canadá	México		EE. UU.	Canadá	México
EE. UU.	-	4.9	12.8	EE. UU.	-	13.1	17.0
Canadá	83.4	-	-	Canadá	121.7	-	-
México	67.8	1.3	-	México	64.7	1.4	-

Fuente: Elaboración propia con datos de Statistical Review of World Energy 2000 y 2008

2.2.1 EE. UU.

Debemos tener en cuenta, como ya mencionamos, que EE. UU. es un país de ingreso alto, una potencia mundial que en gran medida ha sido el más beneficiado del uso del petróleo, dada su estructura urbana de transporte⁵⁸, basada en suburbios alejados del centro de la ciudad y un transporte público limitado que implica un uso del automóvil particular muy alto. Por lo tanto, su cotidianidad urbana se encuentra diseñada con base en un recurso energético constante y barato⁵⁹.

2.2.1.1 Reservas de petróleo.

Las reservas de petróleo per se son un tema muy delicado para la seguridad nacional de cualquier país del orbe; así pues, para una potencia militar que tiene que

⁵⁷ Se utilizaron para la siguiente ilustración/ tabla los compendios estadísticos de la Brithish Petroleum Company de 2002 a 2009.

⁵⁸ Kenworthy Jr., "Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities", presented to the international Third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, Notre Dame University, Fremantle, Western Australia, September 17-19, 2003.28 p.

⁵⁹ Saxe Fernández John, *Aspectos estratégico-militares inmersos en el proyecto de integración de América del Norte*, Revista de Ciencias Sociales, No. 53, Universidad de Costa Rica, SEP, 1991, p. 53.

mantener una serie de bases militares de gran envergadura, es un tema de aun mayor importancia.

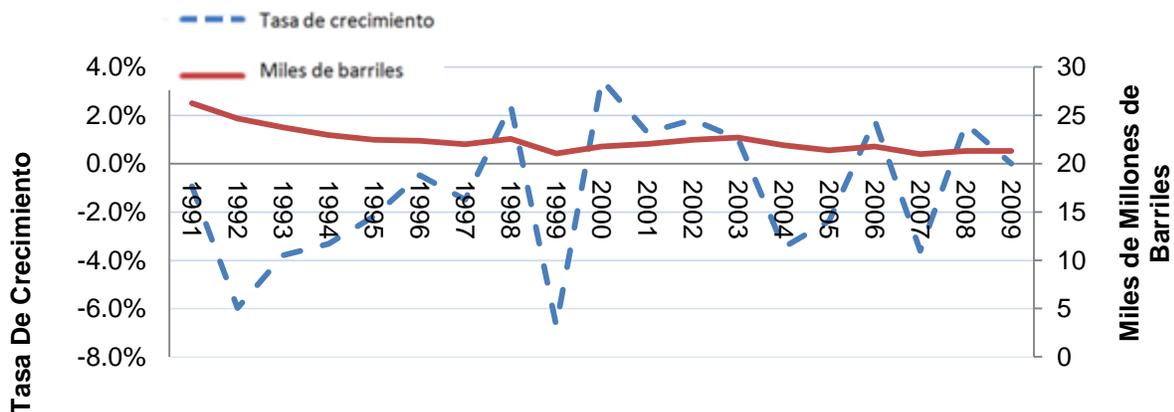
La búsqueda de control directo o indirecto sobre los recursos petroleros es una doctrina declarada por Carter, la cual afirma que el petróleo y su suministro a los EE. UU. se defenderá con medios más allá de los diplomáticos. A ese respecto, la experiencia histórica pareciera afirmar que los EE. UU. tienen este principio casi como único eje, es decir, asegurar fuentes de abastecimiento de petróleo es su principal objetivo. Al respecto el doctor Soere Kern va más allá y afirma que dicho pacto es aun más antiguo y que se remonta a la presidencia de Roosevelt:

“El uso del poder militar para proteger el suministro de petróleo ha sido un principio básico de la política exterior estadounidense desde 1945, cuando el presidente Franklin D. Roosevelt prometió al rey Abdulaziz de Arabia Saudí que EEUU protegería su reino a cambio de un acceso especial al petróleo saudí”⁶⁰.

Si bien las reservas disponibles para consumo de los Estados Unidos son un poco mayores, las reservas que aquí se tomarán en cuenta son las que se encuentran dentro de su territorio, no las que poseen las empresas de capital exclusivamente norteamericano. Las reservas norteamericanas han tenido una fuerte caída con el pasar de los años. En los años 50 y 60, sus reservas eran las mayores de Norteamérica y se encontraban entre las tres más grandes del mundo, llegando a un máximo en 1979 de 39 mil millones de barriles, prácticamente el doble de las que ahora posee es decir 20 mil millones de barriles ⁶¹; desde entonces han tenido un declive natural pronosticado en cierta medida por King Hubbert.

En la ilustración siguiente podemos observar la constante, aunque leve, disminución de las reservas probadas. Debemos tener en cuenta que las reservas no tienen una terminación en el corto plazo, es posible que se sigan haciendo descubrimientos, pero en el largo plazo es inevitable que se agoten.

Ilustración 12 Reservas probadas de petróleo de los EE. UU.



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

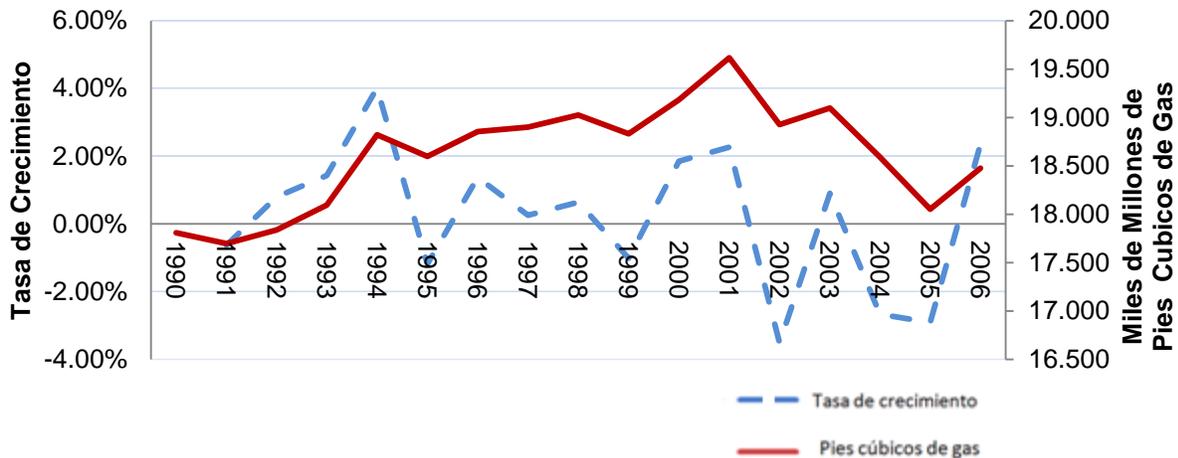
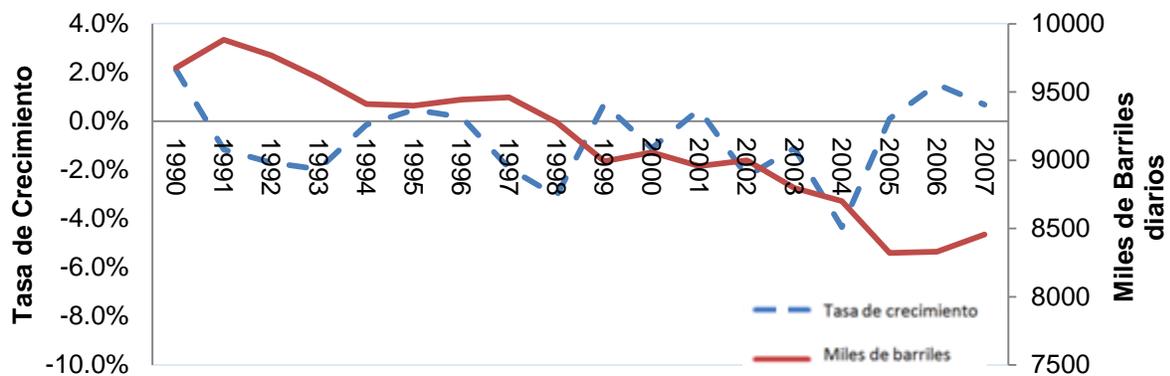
⁶⁰ Soeren Kern, “Cómo la demanda de petróleo determina la política exterior estadounidense”, en *Cuadernos de Energía*, N° 13, Junio 2006.

⁶¹ De acuerdo a datos del IEA, Energy Information Administration.

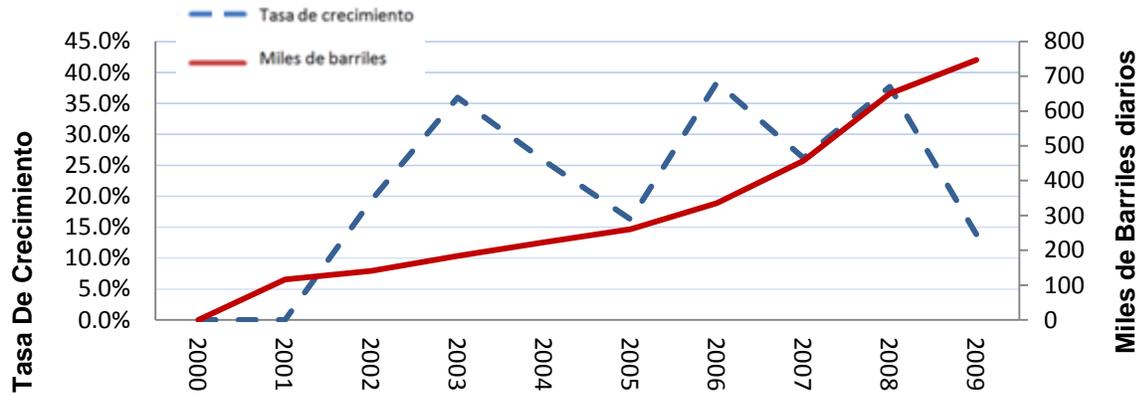
2.2.1.2 Características Energéticas (Producción)

Los EE. UU. son un país que desde la década de los 70 ha tenido una producción de petróleo decreciente, como consecuencia de haber alcanzado el tope de la producción en los años 70, según lo predicho por Hubbert. Sin embargo, la aplicación de diversos métodos de extracción mejorados y la búsqueda de petróleo en zonas antes reservadas, como Alaska y su costa inmediata, ha permitido mantener la producción hasta cierto punto⁶². No obstante, el costo de mantener un pozo en los EE.UU. es creciente, por lo que la producción tiende a decrecer con el tiempo, tal como se observa en la ilustración 13 A

Ilustración 13 Producción de A) petróleo, B) Gas natural, C) biocombustible de los EE. UU.



⁶² S/ autor, Overview of U.S. Legislation and Regulations Affecting Offshore Natural Gas and Oil Activity, EIA (Energy Information Administration), 20 p.



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

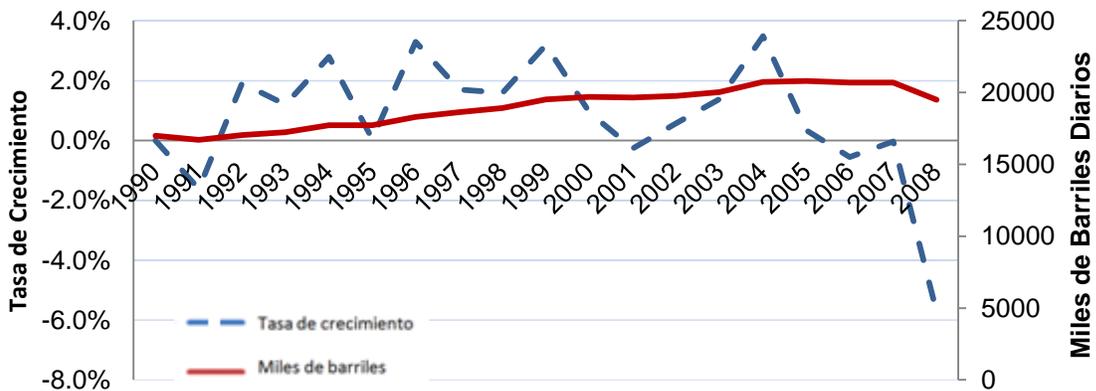
En lo referente a la oferta de gas, EE. UU. es un país cuya producción se utiliza principalmente en el sector residencial y en la generación de electricidad, siendo prácticamente cero (0.6%) el gas dedicado al sector transporte, lo que nos lleva a preguntarnos en primera instancia, si es posible usar dicho combustible para sustituir al petróleo en el transporte.

2.2.1.3 Demanda de energéticos

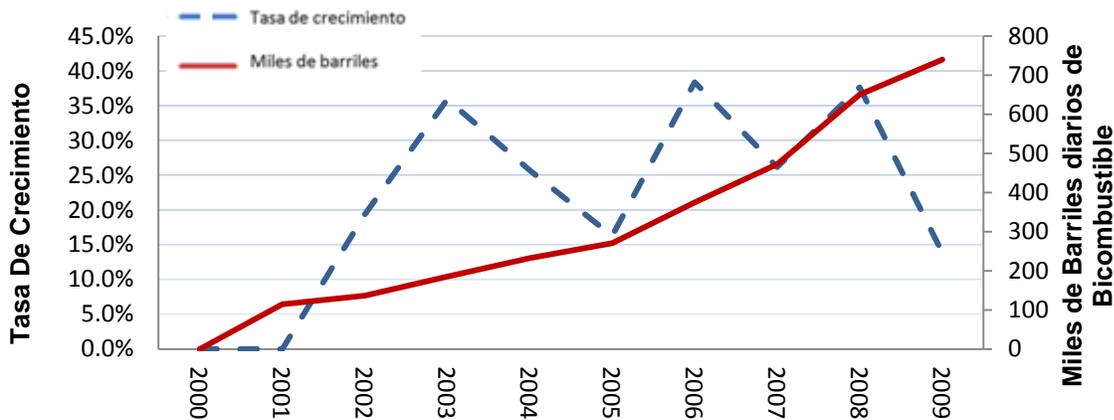
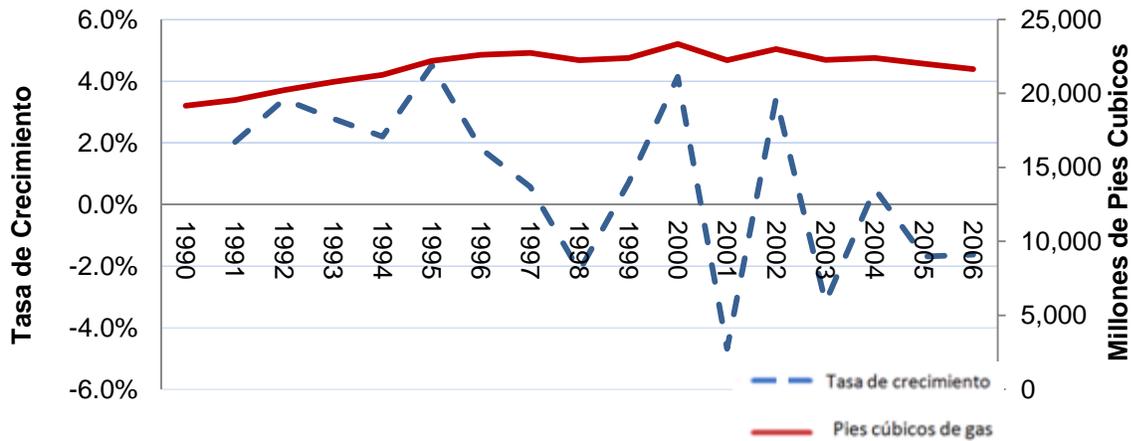
La demanda de petrolíferos en los EE.UU ha tenido los diferentes comportamientos observados en las ilustraciones siguientes.

Ilustración 14 Consumo de A) petróleo B) Gas natural C) Biocombustibles en EE. UU

La demanda de petróleo como lo podemos observar se ve afectada por la crisis de 2001 y de 2009.



A diferencia de la demanda de gas que es mas volátil.



Fuente: Elaboración propia con datos de Statistical Review of World Energy 2000 y 2008

En el caso del gas, la demanda ha tendido a ser estable, con un ligero descenso desde 2002.

En el caso de los biocombustibles, no podemos sino hablar de su crecimiento, que pese a todo, todavía representa poco en el porcentaje total de energía consumida a nivel nacional.

2.2.1.4 Marco legal

En general, todo el sistema de producción, transformación y distribución de energía en los EE. UU. tiene una orientación basada en mecanismos de mercado para regular ciertas áreas como el daño ambiental y la promoción de nuevas tecnologías. No obstante,

es importante contemplar que esta orientación, basada en mecanismos de mercado, cuenta con numerosas oficinas encargadas de vigilar el cumplimiento de las normas.

Entre las instituciones de mayor jerarquía en los EE. UU. nos encontramos con el Departamento de Energía de los EE. UU., de la cual se desprenden numerosas instituciones con diferentes propósitos, desde la promoción de un combustible en particular, como la energía nuclear, por medio de la Oficina de Energía Nuclear (NE) o la Oficina de Ciencia que tiene a su cargo algunos laboratorios nacionales.

La autoridad máxima que existe en EE. UU. para regular los monopolios es la Comisión Federal de Regulación de Energía, encargada de reglamentar la explotación, comercialización y refinación del petróleo, el gas natural y la energía eléctrica en general, misma que se haya controlada por empresas privadas

Los impuestos aplicados a los combustibles derivados del petróleo son alrededor de un 30 a 40% más bajos que en el promedio de los países de la OCDE.

2.2.2 Canadá

Canadá es el país menos poblado en la región y cuya mayor parte de su población se encuentra asentada en la zona sur, en la frontera con los EE. UU. Su posición geopolítica ha variado con el tiempo, pasando de ser colonia británica a un país constituido con una monarquía constitucional. Es un país que cuenta con un nivel de vida alto y son, en general, más receptivos a temas de interés ecológico⁶³, por lo que sus estándares y reglamentación acerca de la emisión de contaminantes son más estrictos en cuanto a cantidades y tóxicos.

Asimismo, su estructura de consumo ha sido bastante más moderada que la de su vecino del sur, teniendo sistemas de transporte público más desarrollados. (Esto solamente en la parte que se encuentra densamente poblada.)

2.2.2.1 Reservas de energéticos

Canadá es un país que siempre ha contado con abundantes reservas energéticas, tanto de carbón, petróleo y en menor medida, de gas; sin embargo, éstas tuvieron un importante crecimiento en el año 2002, después de que se anunciara el descubrimiento de petróleo no convencional o pesado, es decir, de arenas bituminosas. El descubrimiento de dicho depósito ha permitido a la región aumentar sus reservas en más de 37 veces; si bien, hay una cierta controversia si debiera o no ser explotado dicho depósito, pues el costo ambiental de tal explotación sería muy amplio.

El descubrimiento de dichas reservas cambió el horizonte geopolítico de la región, por lo menos parcialmente, ya que es incierto todavía si ese petróleo es explotable, ya

⁶³ Dirección URL: <http://www.canadianecology.ca/>, (Consulta 10 de enero de 2010).

que al ser petróleo pesado, su explotación genera daños mucho más graves al ambiente al mismo tiempo que genera problemas internos en Canadá.



Fuente: Elaboración propia con datos de Statistical Review of World Energy 2000 y 2008

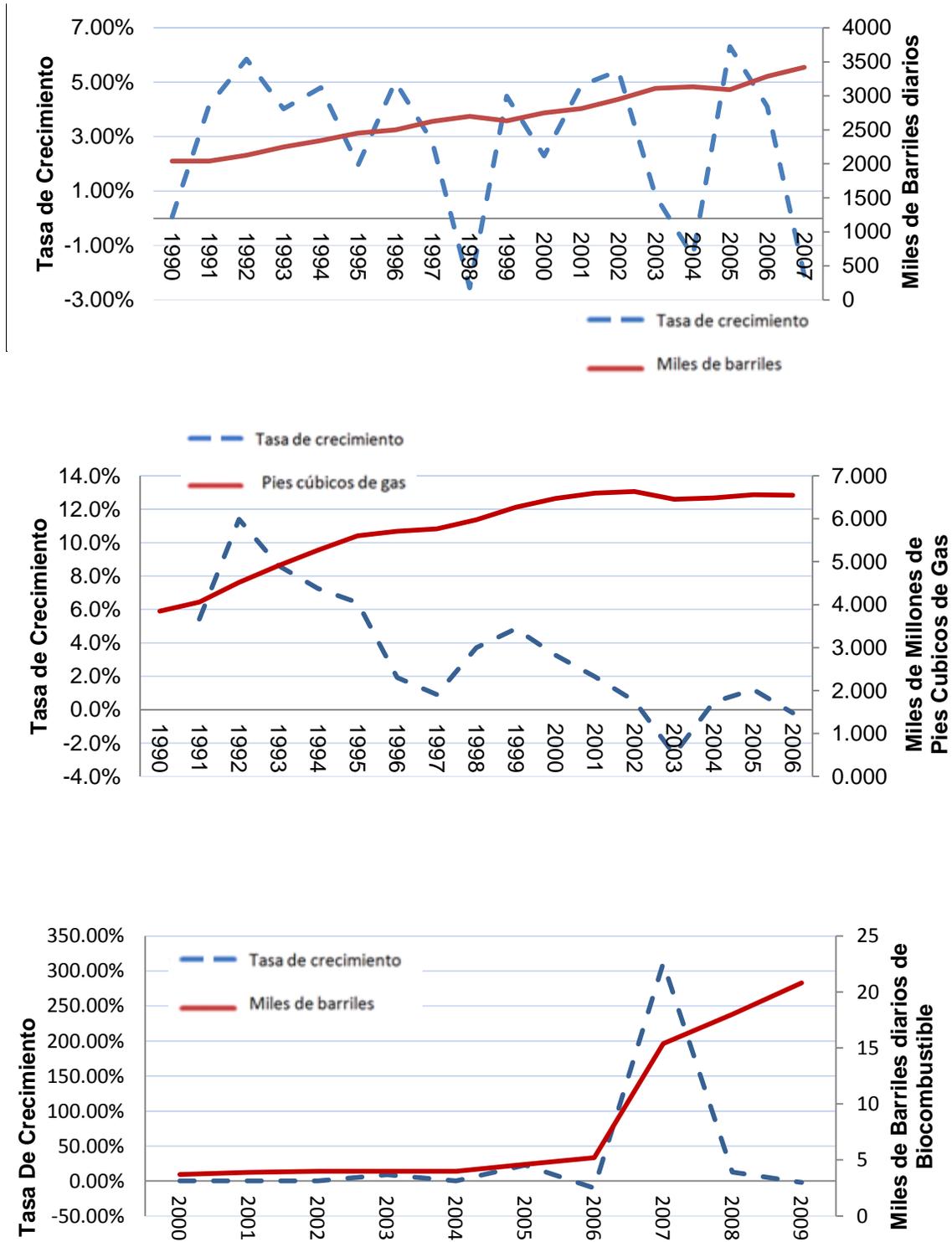
2.2.2.2 Oferta de energéticos

En general, la producción de petróleo en Canadá ha sido creciente, tal y como lo podemos observar en la ilustración siguiente, con una tasa media de crecimiento de alrededor de 3.25%; sin embargo, también podemos apreciar tres importantes caídas: en 1998, en 2004 y en 2007, generadas en gran medida por descensos en la demanda.

En el caso del gas natural seco, es decir, aquél que no se encuentra en su estado licuado, la producción ha tenido también un incremento y de manera muy notable, debido en parte a que, tal como lo menciona Bruce Campbell⁶⁴, investigador canadiense, la extracción de petróleo de arenas bituminosas requiere mucha energía para su obtención, especialmente de gas natural, por lo que en busca de evitar la importación, es probable que Canadá simplemente haya aumentado su producción.

⁶⁴ Ibid. p. 39

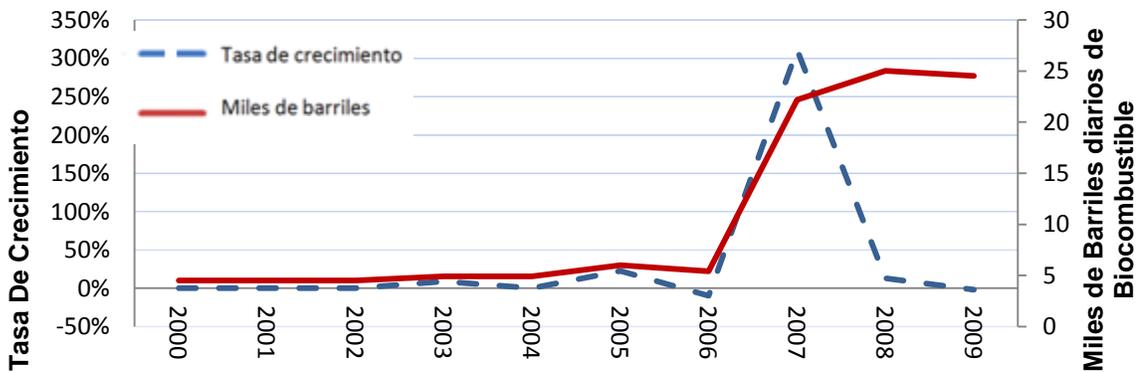
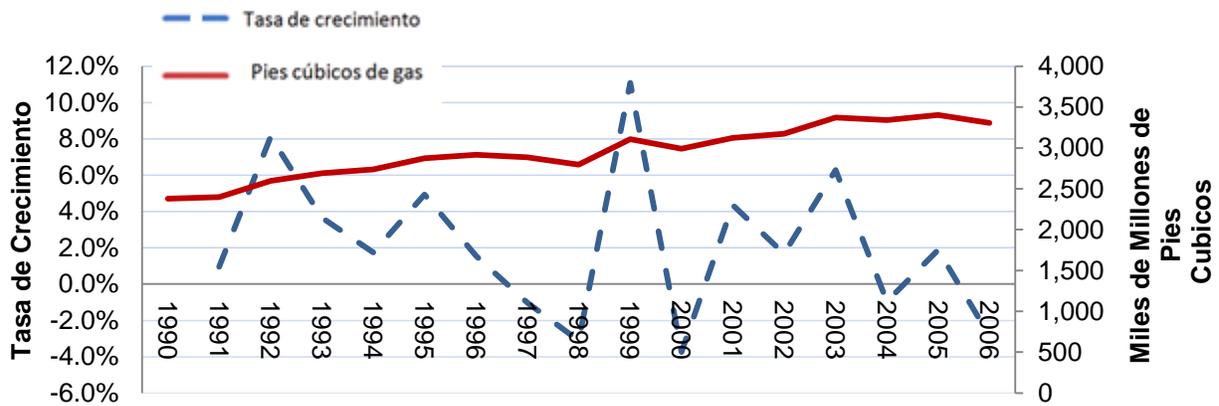
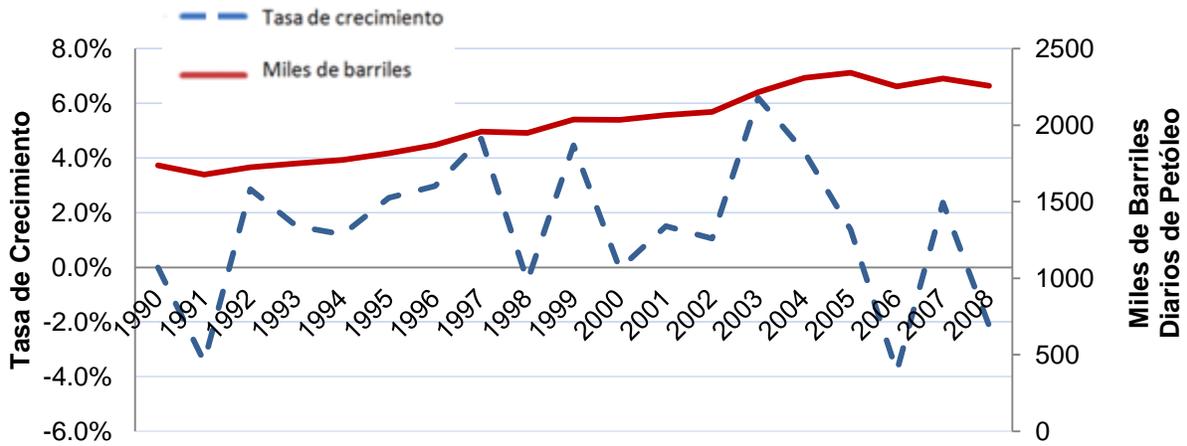
Ilustración 16 Producción de A) petróleo, B) Gas natural, C) Biocombustible de Canadá.



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

El consumo de petróleo en Canadá ha tenido un aumento dirigido especialmente a la exportación más que al mercado interno, ya que en éste, su crecimiento es más bien moderado y ha estado satisfecho desde hace un buen tiempo.

Ilustración 17 Consumo de A) petróleo, B) Gas natural, C) biocombustible de Canadá



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

2.2.2.3 Marco legal

Dadas las diferencias al interior del territorio canadiense entre cada provincia y la relativa autonomía de éstas, existe una descentralización completa en donde, en ciertos casos, el comercio de algunas provincias en cuestión de energéticos, tales como Alberta, Quebec y Newfoundland, es mayor con los EE. UU. que con sus provincias vecinas.

Esta autonomía reparte las responsabilidades del gobierno federal y las provincias, siendo así que el gobierno federal se encarga principalmente de: la explotación de energéticos en parques nacionales, el desarrollo de la energía nuclear, el comercio entre provincias y el comercio internacional, y la vigilancia de leyes federales de impacto al ambiente, desarrollo de energías alternativas y seguridad energética.

2.2.3 México

En el pasado reciente, la economía mexicana pasó de poseer una economía liderada por el sector público, a una liderada por el sector privado. Desde entonces, ciertos sectores se privatizaron, como el de telecomunicaciones, el de transportes ferroviarios y el de administración de carreteras. El sector energético se encuentra en medio de una discusión acerca de su futuro inmediato; este debate acerca de la privatización de las empresas energéticas de México ha puesto en segundo plano el impulso a políticas de desarrollo de combustibles alternos⁶⁵.

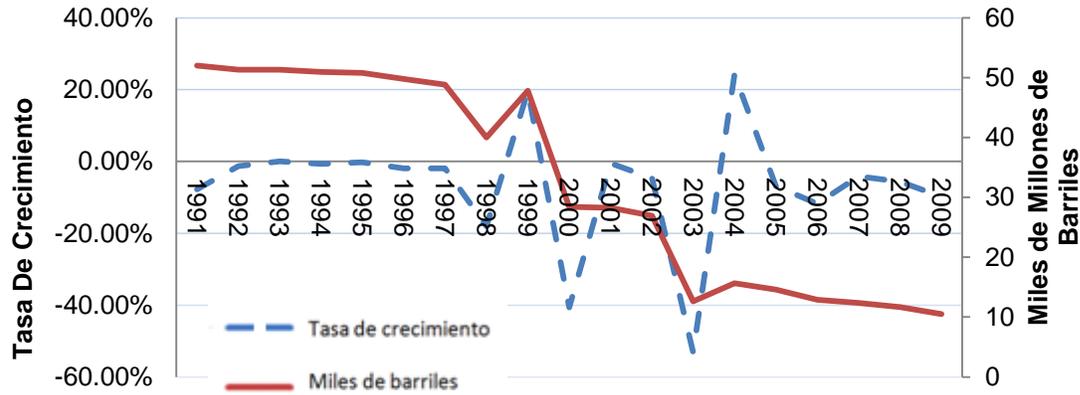
2.2.3.1 Reservas de energéticos

Las reservas petroleras en México han tenido un descenso importante desde los años 90, pasando de 51 mil millones a una quinta parte de esa cantidad es decir alrededor de 10 mil millones de barriles. Entre las razones de esta abrupta disminución se encuentran la sobreexplotación y la baja en la inversión dedicada a la exploración. Asimismo, basta mencionar que la posible reserva encontrada en Chicontepec sufrió un recorte en su presupuesto para exploración del 30%⁶⁶.

65 De la Vega Navarro Ángel, "La transición energética y México como exportador de petróleo. Nuevas Dimensiones del análisis y de las políticas energéticas", en Calva J.L. (coord.), Política energética, Colección Agenda para el desarrollo, tomo 8, D.F., Coedición UNAM, Miguel Ángel Porrúa y LX Legislatura de la Cámara de Diputados, 2007, pp. 345-359.

66 El Universal, "SHCP y Congreso recortan recursos a Chicontepec", Jueves 19 de noviembre de 2009, Dirección URL: <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/75356.html>, (Consulta 24 de marzo de 2010).

Ilustración 18 Reservas probadas de México

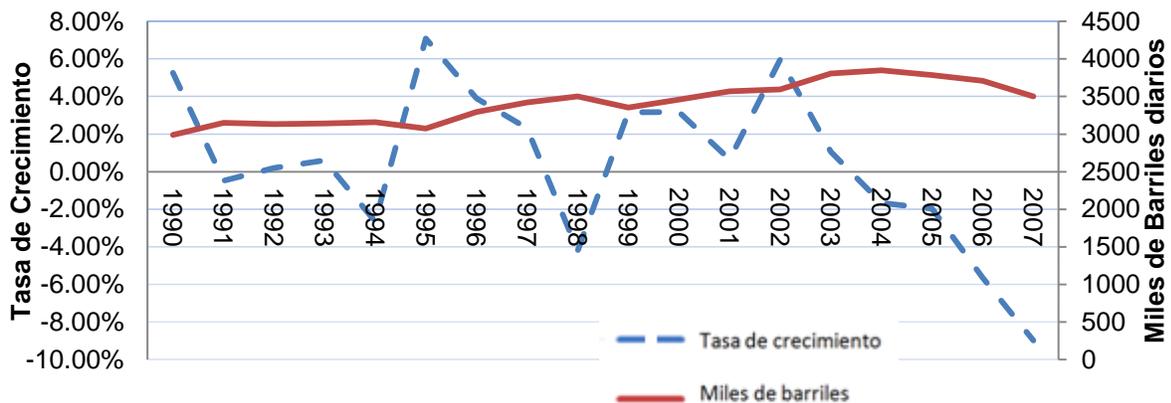


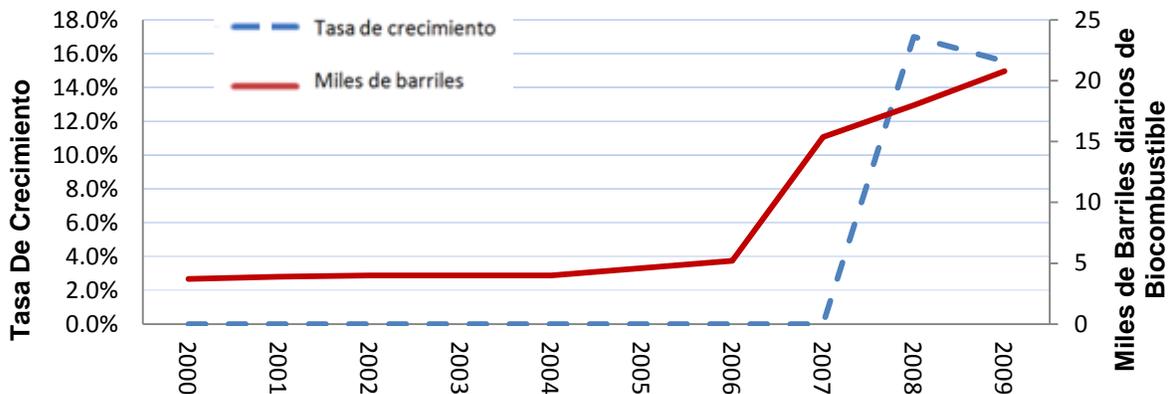
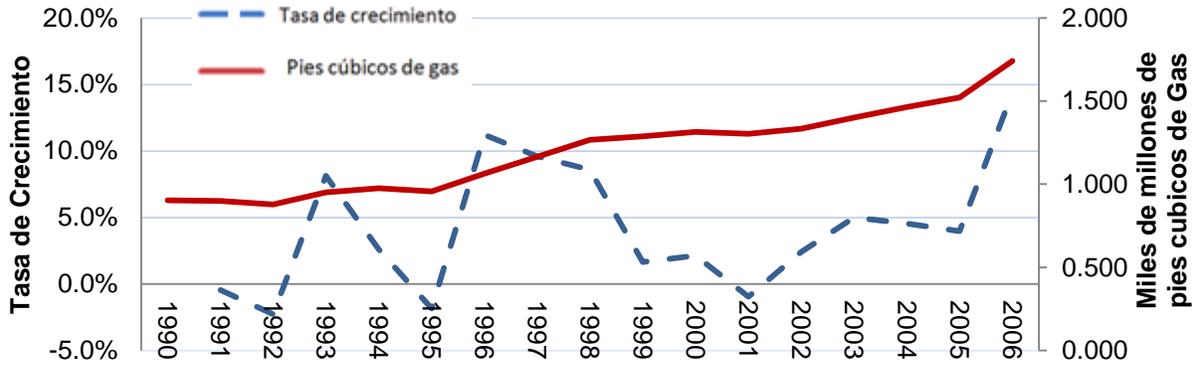
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

2.2.3.2 Oferta de energéticos

La producción de petróleo en México ha tenido también caídas, que si bien no han sido del mismo tamaño a las observadas en las reservas, si son considerables. México ha sido un país que tradicionalmente depende del petróleo para sus finanzas públicas y para el sector industrial, así como para el sector transporte.

Ilustración 19 Producción de A) petróleo, B) Gas natural, C) biocombustible de México





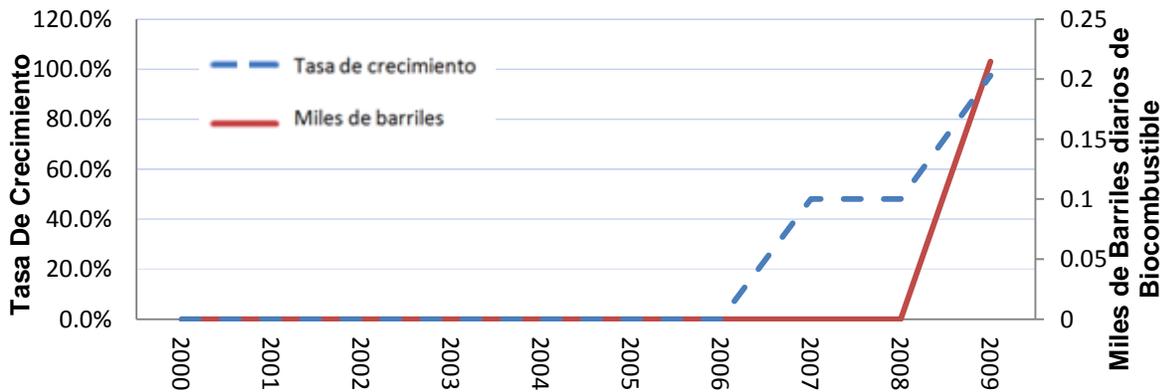
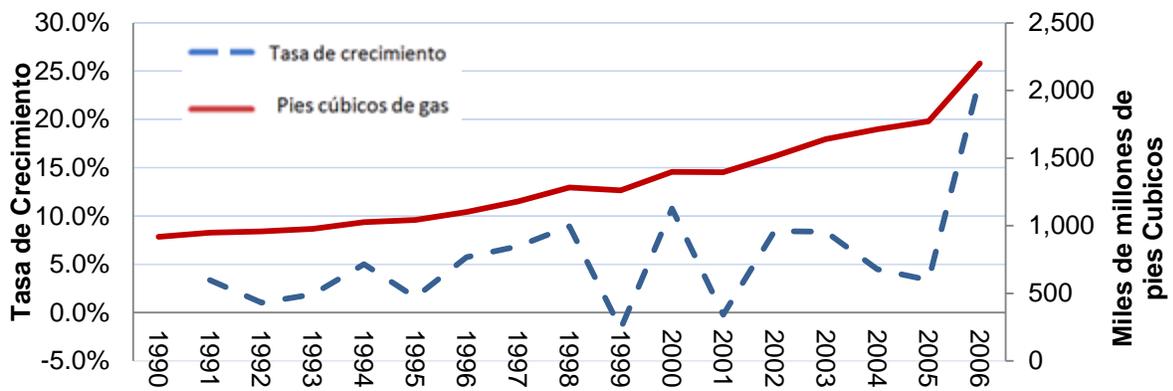
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

Finalmente, nos referimos al gas natural, un combustible que es fuente primaria de energía de numerosas plantas de ciclo combinado productoras de electricidad, aunque su uso es relativamente reciente.

2.2.3.3 Demanda de energéticos

En México, el consumo per cápita de energéticos es bastante menor al observado en los otros dos países de la región. Esto se debe a su nivel más bajo de ingreso y quizá también por cuestiones relativas al clima, ya que es el más templado de los 3 países. Por ejemplificar, en el caso del petróleo, pese a contar con más de tres veces la población que Canadá, consume 1 trillón de BTUs menos.

Ilustración 20 Consumo de A) petróleo, B) Gas natural, C) biocombustible de México



Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, Perfil Energético de América del Norte II, México, 2006 y 2004

Para el resto de los combustibles, la situación es bastante similar, aunque, en términos absolutos, la demanda de gas natural es menor a la de Canadá y EE. UU.; la diferencia en términos per cápita sería aún mayor.

2.2.3.4 Marco legal

De acuerdo con el artículo 27 de la constitución mexicana, queda señalado que los recursos hallados en el subsuelo son propiedad de la nación, siendo ésta una diferencia fundamental en lo que respecta a las otras dos naciones.

Entre los sectores que aún quedan en manos del estado está el energético, el cual está representado por PEMEX, única empresa capaz de realizar las actividades de exploración⁶⁷, producción, procesamiento y venta de petroquímica básica, de acuerdo con el Artículo 27 de la Constitución mexicana; no obstante, el sector privado puede participar en otras actividades del ramo, tal es el almacenaje y la transportación del recurso.

Se han creado una serie de instituciones como la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) y la CRE (Comisión Reguladora de Energía), dependientes de la SENER (Secretaría de Energía), las cuales son las encargadas de promover e implementar las políticas de ahorro y desarrollo de energías renovables.

⁶⁷ Muchas de estas actividades las realiza Pemex concesionándolas a otras empresas, razón por lo cual, existe un debate si es esta situación una privatización encubierta o es en realidad la forma común en que operan todas las empresas. Moreira Rodríguez Héctor, *Entendiendo el TLC*, México, Centro de Estudios Estratégicos-Fondo de Cultura Económica, ITESM, 1995, 238 p.

3 Capítulo III: El sector transporte en la región de Norteamérica

Hasta principios del siglo XIX, el transporte había cambiado poco durante 2000 años o más. Entonces, de repente, la situación cambió con el advenimiento de los ferrocarriles.... Este fue de hecho una revolución del transporte, pero el siglo XX fue a ver a dos giros de más de una magnitud comparable, en primer lugar, en las carreteras y, más tarde en el aire.
Trevor Williams,
La historia de la invención (The history of invention)

En este capítulo se profundiza en la importancia del transporte para la sociedad y la economía, la forma en que éste ha permitido las economías de escala, el comercio y con ello el aumento de la producción. Asimismo, se subraya su relación con la energía, la eficiencia energética y la contaminación ambiental, aspectos que en gran sentido limitan su desarrollo posterior.

Un objetivo central de este texto es analizar la situación actual de Norteamérica en lo relativo al transporte, el porcentaje del PIB que aporta al total de la economía, el número de personas empleadas y su correspondiente infraestructura actual, es decir, el número de carreteras, rieles y aeropuertos, ya que esta información es necesaria para explicar los cambios que requiere y que son posibles dadas las condiciones actuales para que se dé una transición energética en el sector transporte.

Además, se buscará analizar al consumo de energía por tipo de combustible y por modalidad para entender cuál es la forma más contaminante, la que mayor atención requiere y en la que es más urgente impulsar o “generar” la transición energética.

Finalmente, se señalarán los distintos tipos de contaminantes que genera el transporte, su proporción en el total de gases de efecto invernadero y los efectos nocivos a nivel local causados por el transporte, desde la contaminación visual y auditiva a las partículas suspendidas y el monóxido de carbono, así como, el plomo que había sido agregado a las gasolinas para aumentar su octanaje desde los años 40, del cual se ha mencionado que puede tener serias consecuencias para la salud.

3.1 La importancia del transporte

Ha habido una gran transformación a lo largo del tiempo en las formas en que viajamos y nos transportamos. Hasta hace menos de 300 años, lo cual es poco tiempo en la existencia de la civilización humana, todo el transporte se realizaba con energía renovable, con claras limitaciones en lo relativo a su velocidad, distancia y capacidad: quizá una tonelada como máximo y a velocidades de entre 6 a 8 km/h en tramos rectos y parejos, no así en zonas elevadas con caminos maltrechos en donde la velocidad era de 1 o 2 km/h⁶⁸.

Es precisamente en ese sentido que en las dos últimas centurias hemos logrado movilizar a un mayor número de personas, más rápido y más lejos, que en toda la historia

⁶⁸ Smil V., *Energy in World History*, Westview Press, Boulder, CO, 1994, p. 30.

de la humanidad, redimensionando las distancias y estableciendo por primera vez la oportunidad de un mundo verdaderamente global.

El incremento en el número de pasajeros, la reducción en el tiempo que les tomaba recorrer cierta distancia y el desarrollo de vehículos e instrumentos que se dio a partir de la revolución industrial requirió de adelantos técnicos que trajeron consigo transformaciones que afectaron a toda la esfera de la sociedad.

La metamorfosis fue lenta, pero constante: se pasó de grandes locomotoras movidas a carbón que conectaban sólo a grandes ciudades, a pequeños automóviles capaces de darle una autonomía al usuario promedio que nunca nadie antes había tenido; se pasó de los globos aerostáticos lentos, con poca capacidad de dirección⁶⁹ a las aeronaves actuales como el A400 de Airbus; de una sociedad fija a una móvil, con un rango de acción cada vez más amplio.

En la siguiente tabla se muestra el avance de los vehículos en términos de velocidad promedio y velocidad máxima, y se muestra la redimensión de las distancias que se mencionó anteriormente. En tanto que, por ejemplo, en la colonia o en la época del viejo oeste norteamericano se requerían de varios días o semanas para hacer un recorrido de 1000 kilómetros, que es poco más de la distancia de México a Monterrey (989 km), hoy en día ese mismo recorrido se hace en un poco más de 12 horas en automóvil. Por lo tanto, viajes o intercambios de bienes que antes eran imposibles de llevarse a cabo, hoy son cotidianos, esto es la expresión más simple y general de la redimensión de distancias que hemos experimentado.

Tabla 2 Velocidades de distintos medios de Transporte en la Historia

⁷⁰ Vehículos	Velocidad promedio	Velocidad máxima	Tiempo en recorrer 1000km
Carreta (antigüedad a 1780)	3km/h	10km/h	----
Locomotora tradicional a carbón(1780 a la actualidad)	20km/h	47km/h	50 hrs
Automóvil a motor a combustión artesanal (1880 a 1909)	30km/h	150km/h	33hrs
Automóvil de motor a combustión interna producción en masa (1909 a la actualidad)	80km/h	407km/h	12.5 hrs
Tren Maglev (1968 a la actualidad)	250km/h	581km/h	4hrs
Avión de pasajeros a turbina (1953 a la actualidad)	913km/h	970km/h	1.09hrs
Avión de pasajeros a reacción tipo Concorde (1976 a 2003)	2140 km/h	2639 km/h	0.46hrs

Fuente: Elaboración propia con datos varios(ver pie de página 53)

⁶⁹ Inventados por los hermanos Montgolfier en Francia en 1784, eran capaces de llevar 7 u 8 personas, una distancia máxima de 250 kilómetros de acuerdo con Smil V., op. cit.

⁷⁰ Elaboración propia, basada en una idea de Vaclav Smil, los datos se encontraron en las respectivas páginas oficiales de cada vehículo, y en el caso más antiguo del propio Vaclav. Se considera automotriz artesanal a la mayoría de automóviles previos al Ford T, tales como el modelo de Peugeot o el de Karl F. Benz. Asimismo, para el automóvil actual se considera un modelo de Bugatti Veyron, el automóvil en serie más veloz construido, por lo que se sobreestima la velocidad máxima, el tren Maglev es el de Shangai y el avión de turbina es el a400 de Airbus.

No obstante, la transformación en las formas de transportarse y en el consumo de energía que se ha producido en las últimas décadas, es decir, desde los años 70's no son simplemente causados por un cambio tecnológico, tal como lo menciona Javier Campos en el siguiente párrafo, ya que algunos de estos desarrollos tecnológicos son de antes de la época mencionada en donde surge la globalización y es precisamente el cambio institucional el que los potencia:

“Algunos de estos cambios están originados por la introducción de nuevas tecnologías y nuevos sistemas de organización y regulación de la industria. Otros, como el cambio en la composición de la producción han alterado la importancia relativa de los modos de transporte. Cuando en la producción predominan los grandes sólidos y líquidos el modo ferroviario y el marítimo tienen más cuota de mercado que cuando los productos de poco peso y volumen y mucho valor empiezan a desplazar a los anteriores”⁷¹.

Por lo tanto, aconteció la transformación de una producción de productos voluminosos y pesados, tales como generadores, motores o plantas de gran tamaño, como la que ocurría en los años 50 y 60, a una donde la producción es de artefactos miniaturizados y de alto contenido tecnológico como los chips y las computadoras de los años 90.

Paralelamente se dio otro cambio, el de una economía semi-cerrada en donde la producción era dirigida casi totalmente al interior del propio país a una enfocada en satisfacer la demanda de un mundo globalizado. Es así que, si bien la revolución generada en el sector transporte debido a la utilización del carbón y posteriormente al uso del petróleo como carburante en el motor de combustión interna ha sido fundamental, no debemos dejar de lado el nuevo esquema institucional del mundo, el cual ha ayudado a generar nuevas actividades económicas hasta antes inexistente como el turismo, potenciando las economías de escala gracias a su enorme capacidad de carga durante la época del fordismo y ha permitido también la producción “justo a tiempo” gracias a la reducción de tiempos y al control que tienen las embarcaciones y vehículos para ajustarse a un horario de una manera más precisa que en la antigüedad.

Esta multitud de nuevas actividades e industrias suceden porque el sector transporte es particularmente receptivo a las transiciones energéticas, ya que es en lo general un sector tan interconectado con el resto de la economía, que los cambios sucedidos dentro de su entorno, rápidamente repercuten en él.

Al mismo tiempo, muchos gobiernos y empresas ven a las comunicaciones y el transporte como una prioridad social por lo que se la da impulsos al desarrollo de la tecnología en el sector, ya que permite ampliar las ganancias en eficiencia, tiempo y seguridad, además de tener un objetivo geopolítico-militar, el cual ha sido de fundamental importancia en el desarrollo de los transportes. De esta forma, por ejemplo, la sustitución del carbón, en tiempos de la primera guerra mundial, para mover a los barcos de la armada inglesa, se dio ante la necesidad de no quedar rezagados frente a la flota alemana, ya que el petróleo le confería a los barcos mayor velocidad y autonomía⁷².

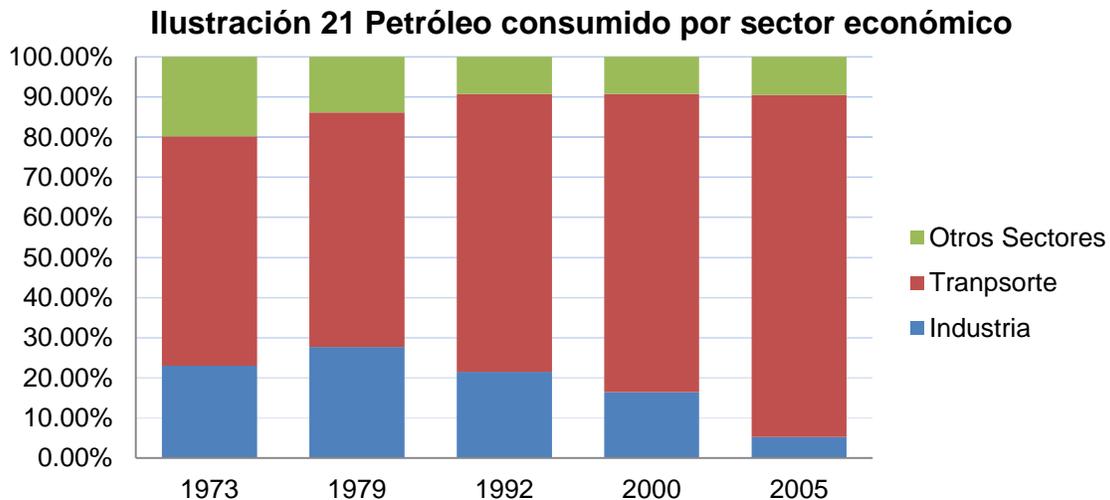
El valor del petróleo en el sector transporte es probablemente más importante que en ningún otro, pues como sabemos, la nuestra es una sociedad cuyo principal energético

⁷¹ De Rus Gines; Campos Javier; Nombela Gustavo, *Economía del transporte*, Barcelona, Ed. Antoni Bosch, 2000, p. 18.

⁷² Wirth Timothy; Grey Boyden; Podesta John, “The future of energy policy”, en *Foreign Affairs*, Julio-Agosto 2003. pp. 125 -143.

es el petróleo, y el sector que tiene una mayor dependencia y una menor posibilidad de usar un bien sustituto es precisamente el sector transporte.

En la siguiente ilustración, las estadísticas permiten observar que el sector transporte es el mayor consumidor de petróleo en toda la economía de Norteamérica y de hecho, su participación en el consumo de petróleo ha venido en aumento con respecto a los otros sectores a lo largo del tiempo. Así pues, tal y como lo observamos en el Capítulo I, ilustración 3, a mayor disposición de energía, las sociedades gastan cada vez más en transportarse, ya sea por el incremento en el número de personas que diariamente viajan de zonas cada vez más lejanas o bien por el enorme tráfico de mercancías al interior de un país y a nivel internacional. Por lo tanto, el crecimiento en el consumo del petróleo es resultado casi exclusivamente de su uso en la transportación⁷³, ya que las otras industrias dentro de la economía tienen consumos similares a los que tenían en los años 70 de acuerdo con el World Oil Outlook 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

Es por eso que si bien los cambios tecnológicos y de organización de la economía transformarán al sector de varias maneras, poco podemos esperar en lo referente a una reducción en el consumo de energía, ya que la tendencia mundial es otorgar mayor movilidad a los individuos, tal como lo menciona el World Oil Outlook 2007:

“El sector del transporte seguirá siendo parte integrante del futuro crecimiento de la demanda, dado el cambio de las posibilidades limitadas de combustible y la continua expansión de espera en la movilidad en todo el mundo”⁷⁴.

Es por ello imprescindible estudiar cuales son las mejores opciones de sustitución del petróleo en el mediano y largo plazo, y a partir de ahí enfocar nuestros recursos intelectuales, económicos y políticos, rumbo a esos combustibles, de otro modo, la tendencia dominante es un consumo cada vez mayor de petróleo, sin importar su precio, o sus efectos sobre el medio ambiente.

⁷³ OPEC, World Oil Outlook 2007, ED OPEEC, VIENNA 2008, p. 378.

⁷⁴ OPEC, World Oil Outlook 2007, ED OPEEC, VIENNA 2008, p. 390.

3.2 El sector transporte en la economía de la región de Norteamérica

Al establecer su relación con el resto de las actividades económicas, tomaremos como referencia diferentes variables que a nuestra consideración son fundamentales.

En primer lugar, el porcentaje del PIB que genera, mas no sólo por la producción en sí misma que el sector genera, sino por los múltiples efectos multiplicadores en productividad, en las nuevas actividades que conlleva y por supuesto, en los encadenamientos productivos que posee. A este respecto, podemos mencionar al automóvil y en general cualquier vehículo, pues resulta verdaderamente un producto como ninguno: requiere infraestructura para moverse, es decir, concreto y asfalto proveniente del petróleo pesado; requiere de vidrio y acero; utiliza petróleo como combustible ya sea diesel, gasolina, turbosina o gasóleo y en su estructura se necesitan plásticos, metales, tela, piel y aparatos electrónicos. Es probablemente uno de los productos que más encadenamientos productivos posee. A este respecto Jeremy Rifkin menciona que:

“Los automóviles se convirtieron en la pieza clave del capitalismo industrial, durante la mayor parte del siglo. Muchas otras industrias básicas estaban vinculadas a la suerte del coche. Los automóviles consumían el 20% del acero, el 12% del aluminio, el 10% del cobre...el automóvil no tiene rival en la historia del mundo como consumidor de materias primas”⁷⁵.

En segundo lugar, es necesario analizar el número de empleados que maneja en su producción por ser éstos los primeros que se enfrentarán a la reestructuración de la industria, comprender qué subsectores son particularmente urgentes y cuáles son secundarios en la transición.

Y en tercer lugar, la infraestructura actual con la que cuenta este sector en la región en términos generales: carreteras, gasolineras y un elemento poco mencionado pero de fundamental importancia: ductos de transporte de petróleo.

La necesidad de plantear estos datos se circunscribe dentro de la idea de que al hablar de transiciones energéticas en el sector transporte debemos considerar que el sector no se encuentra aislado y no depende enteramente de una cuestión tecnológica; sino que por el contrario, su potencialización o su fracaso dependen de fuerzas políticas, sociales y económicas, en tal caso es de vital importancia conocer algunos aspectos que caracterizan al transporte, es decir, el efecto cuantificable dentro de la economía.

Como ya se mencionó, su efecto económico va mucho más lejos de lo que las cifras señalan. En palabras del académico Javier Campos:

“Más que por la magnitud de su contribución a la producción nacional, la relevancia del transporte en la economía se explica por la dependencia que tiene la sociedad actual de la movilidad de personas y bienes. Los individuos demandan transporte para desplazarse de sus lugares de residencia a los de trabajo...las empresas demandar para enviar o recibir mercancías”⁷⁶.

No es de sorprender que al igual que en todos los demás sectores existen fuertes disparidades entre los tres países, no sólo en la infraestructura sino también en los transportes utilizados como medio predilecto de transporte, en la refinación y en aspectos

⁷⁵ Rifkin Jeremy, *La economía del hidrógeno*, Barcelona, Paidós, 2002, 324 p.

⁷⁶ De Rus Gines; Campos Javier; Nombela Gustavo, op. cit. p. 19.

de uso; sin embargo, parece que los tres países presentan tendencias similares en cuanto a la velocidad y dirección de los cambios que se están presentando.

3.2.1 Modalidades del transporte en la región

Se asume generalmente que el transporte es un sector más o menos homogéneo, sin embargo, podemos observar cómo existen modalidades del mismo, y cómo cada una funciona de un modo bastante desemejante, con consumidores diferentes, productores distintos y también con necesidades de infraestructura muy variadas.

El poder adquisitivo y la geografía son dos de los principales elementos que definen el modo en el que la población de un país se trasladará, siendo así por ejemplo, que la participación de métodos más rápidos como el avión o los trenes de alta velocidad serán preferidos en aquellas naciones más ricas, sobre el transporte terrestre tradicional, mas no necesariamente son los únicos, ya que el factor cultural también desempeña un papel muy importante. De ahí que, en regiones con ingresos similares como EE. UU. y Europa, los norteamericanos tienen una propiedad de autos de casi un 30% más⁷⁷, es decir, de cada 1000 habitantes de los EE. UU., cerca de 560 poseen un auto, en tanto que en países como Alemania o Francia, tienen automóvil solamente cerca de 411 y 426 respectivamente.

La modalidad en la que el transporte se presenta es muy importante, pues nos indica cual es el eslabón en el que el consumo de energía es mayor, cual consume más petróleo y también que modo de transporte es el más eficiente, por ello es importante mencionar con cierto detenimiento cada una de ellas, siendo cautelosos, ya que por ejemplo en el transporte terrestre no existe una base de datos confiable que nos permita mencionar cual es el número de usuarios/mercancía por litro de combustible consumido, en todo caso, las cifras nos deben dar una dirección mas no debemos fiarnos completamente.

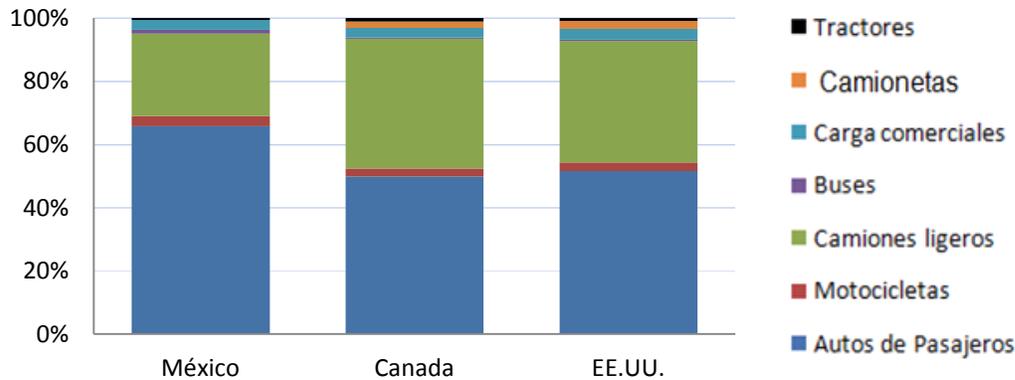
Existen varias modalidades de transporte, las que aquí consideraremos son: el transporte terrestre, aéreo, marítimo, la modalidad de rieles y algunos otros.

El transporte terrestre de carretera o urbano incluirá a los automóviles ligeros, las camionetas, los camiones y las motocicletas.

En la siguiente gráfica podemos observar que tipo de vehículos son los dominantes en la modalidad terrestre. Analizando de manera general la gráfica podemos observar que del total del parque vehicular, los automóviles de pasajeros representan en cualquiera de los países más del 50% del total de los automotores que circulan en carreteras y calles, esto evidencia la dependencia del transporte de pasajeros en este tipo particular de vehículo, en segundo lugar se encuentran los camiones ligeros, es decir, la otra cara de la moneda: el transporte de mercancías.

⁷⁷.Kenworthy Jr., "Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities", presented to the international Third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, Notre Dame University, Fremantle, Western Australia, September 17-19, 2003, p. 215-217.

**Ilustración 22 Numero de Unidades de transporte
Porcentaje de unidades por tipo de vehiculo terrestre en
2007.**



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

Existe otra modalidad de transporte que si bien es necesario mencionarla, creo en lo personal que debe ser considerada un segmento diferente, dada sus particularidades, pues la vía o infraestructura es en sí misma el vehículo, es decir, no existe un vehículo como tal, y requiere de una baja cantidad de energía para mover cada unidad de peso siendo en su gran mayoría gas natural, es decir, no utiliza petróleo. La importancia de este último medio de transporte radica más que en el petróleo que consume, en la infraestructura que le presta al mismo para ser móvil: sin una adecuada red de oleoductos, no podríamos entender las enormes redes de comercio que se han generado a raíz de esta movilidad prácticamente global.

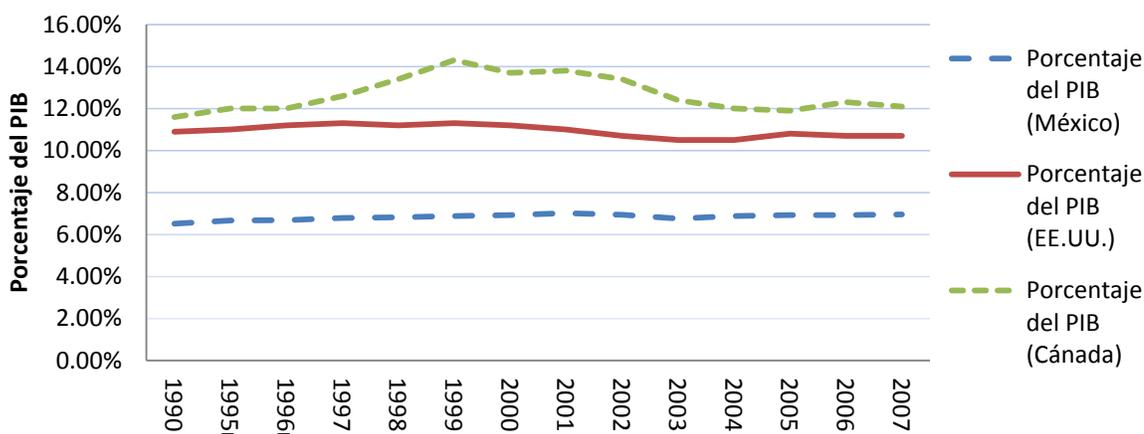
3.3 Participación en el PIB

El transporte como se mencionó anteriormente contribuye en la economía de múltiples formas, ya sea en la forma de costos de transporte, en la movilización de pasajeros para llevarlos a su trabajo o bien a un lugar turístico determinado; sin embargo, existen otras formas en las que la manufactura tiene un efecto directo como en la producción de piezas y en la fabricación de vehículos.

En la ilustración siguiente podemos observar la participación de este sector en el PIB a lo largo del tiempo para los tres países, no sólo de lo directamente relacionado con el sector transporte también de la demanda final generada por éste, tal es el caso del consumo de refacciones y gasolinas, el gasto en pasajes pagados por los usuarios y en general todas aquellas actividades que hubieran requerido de transportación.

Podemos observar que en las economías más boreales y prósperas, el transporte tiene una participación mayor en la economía, lo cual es explicable según lo dicho en el primer capítulo de este texto, la movilidad de sus ciudadanos y los productos que comercian se incrementa de manera paralela a la riqueza.

Ilustración 23 Participación del sector transporte en el total del PIB de Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con datos del CIA World Fact

Estas estadísticas muestran solamente la producción directa del servicio, obviando una serie de actividades las cuales no existirían si no fuera por la capacidad actual de movernos más lejos, en menor tiempo y más económicamente. Estas actividades como el turismo, no están representadas en la ilustración anterior, por lo que es probable que su contribución real a la economía sea todavía mayor.

3.4 Personal ocupado en el sector transporte en la región de Norteamérica

El cambio en el paradigma energético significaría un cambio también en el número y en la capacitación de los trabajadores en el sector, especialmente en el perfil laboral. Dicho cambio no puede ni debe ser violento, ya que se generarían tensiones sociales que simplemente darían lugar a un menor respaldo a los combustibles limpios.

Hay experiencias históricas que muestran que la introducción de una nueva tecnología causa estrés y malestar social, pues significa, en la mayoría de los casos, un desplazamiento de mano de obra, desde los ludistas que destruyeron las primeras máquinas en Inglaterra durante la revolución industrial⁷⁸ a la actualidad en donde protestas de miembros de Greenpeace son vistas con desagrado por muchos de los obreros que laboran en las minas de carbón de Canadá, por no hablar de los directivos de las compañías.⁷⁹

A partir de estas experiencias históricas es necesario ser cautelosos e implementar programas que permitan el desarrollo de toda una generación de trabajadores; no obstante, también es necesario señalar que no se requiere una profunda conversión de habilidades y conocimientos en todos los sectores relacionados con el transporte.

⁷⁸ Cipolla Carlo M, “Historia económica de la población mundial”, Madrid, Editorial Critica, 2001, 320 p.

⁷⁹ National Geographic, Energy, Febrero 1981.

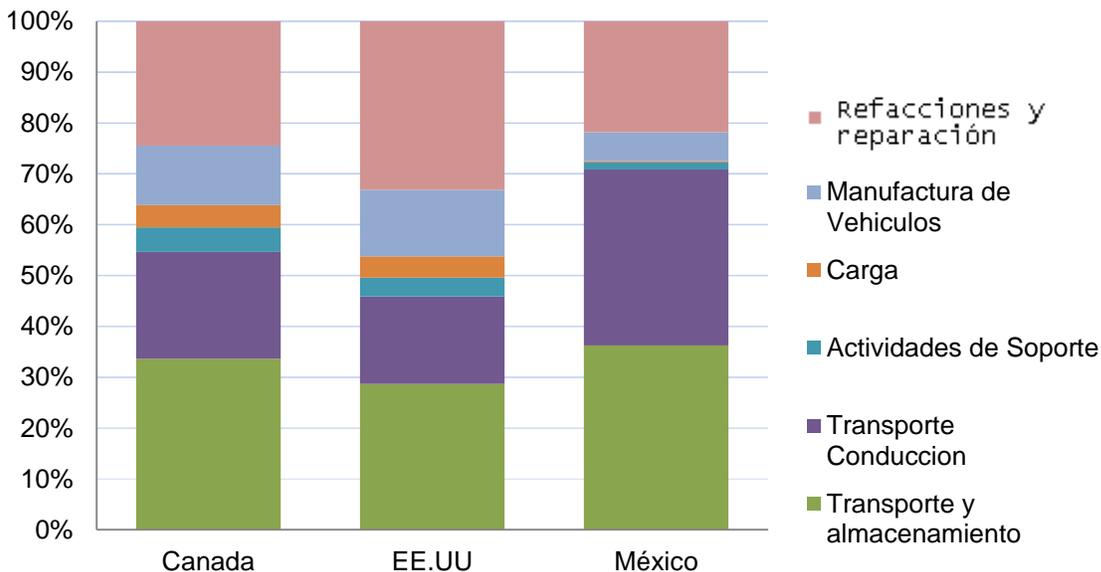
Se ha mencionado que existen tres fuerzas que impulsan el crecimiento de los “empleos verdes”: en primer lugar, nos encontramos la variable del cambio tecnológico, condiciones económicas prósperas y políticas estatales.⁸⁰

Dado que la disponibilidad de información se encuentra en dos metodologías distintas para la región, utilizaremos sólo los datos de un año, aclarando que las variaciones importantes a lo largo del tiempo observado en ambas metodologías es mínimo, es decir, no hay grandes desplazamientos de personal de una actividad a otra en periodo de tiempo relativamente corto como el que estudiamos (1990-2009).

El objetivo de la ilustración es ver la estructura general de cómo están divididos los trabajadores, para tener una idea de en que subsectores o áreas es imperativo la implantación de una transformación de fuerza laboral, transformación que no obstante debe empezar no en el centro laboral, sino en las universidades; sin embargo, en la actualidad existen muy pocas carreras que se encuentren dirigidas especialmente al sector sustentable, en la mayoría de los casos son posgrados y especializaciones⁸¹.

También se muestra el número de empleados ocupados por el sector transporte en diferentes actividades, desde la manufactura, hasta la conducción.

Ilustración 24 Trabajo en el sector transporte en Norteamérica en 2007



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

En esta ilustración podemos observar que del total de trabajadores, la mayoría, en todos los países, se dedica ya sea al almacenamiento y transporte de mercancía o bien a

⁸⁰ Krepcio Kathy, “Green Jobs and their Role in our Economic Recovery”, en *Testimony before the House Committee on Education and Labor*, Subcommittee on Workforce Protections, 2009, 6 p.

⁸¹ Idem.

la conducción de toda clase de vehículos⁸²: es muy probable que este tipo de trabajadores se vean escasamente afectados por la transición, ya que su trabajo radica más en la conducción misma que en la forma en cómo funciona el motor, además de que generalmente requieren una menor instrucción.

La experiencia histórica muestra que existe la tendencia de que conforme aumenta el grado de complejidad de un vehículo, sus conductores dejan de ser los que lo reparan⁸³, por lo tanto, es muy remota la posibilidad de que se tenga que capacitar a este personal, pues su labor en realidad permanecerá intacta en gran medida.

Si esto sucede efectivamente, entonces debemos preguntarnos ¿qué parte de la población empleada en el sector transporte se vería mayoritariamente afectada por una transición energética?, a mi parecer y de acuerdo también a David Robinson⁸⁴, los efectos se verían en tres de los subsectores que integran al transporte; en primer lugar, en el de manufactura de vehículos, que se verían inmersos en una amplia transformación⁸⁵; en segundo lugar, el subsector que sufriría los efectos de una transición sería el de actividades de soporte, incluyendo la mecánica y la estética del vehículo, es posible que sea este sector uno de los más afectados, pues se compone en su gran mayoría de pequeñas y medianas empresas y trabajadores independientes, por lo que los efectos sociales podrían ser importantes; finalmente el último subsector sería el de la refinación, el cual se encuentra más relacionado con el sector petrolero que con el transporte.

Se ha cuestionado mucho qué tanto afectaría a este sector y sí sería negativamente. Algunos como Daniel Sperling consideran que en realidad sería muy positivo, puesto que de ninguna forma se afectaría a la actual industria de manufactura automovilística, sino que en todo caso se desarrollaría una industria “verde” paralela, otros asumen también que si bien el impacto no sería directo, la introducción de carros más eficientes, limpios y probablemente con subsidio obligaría a muchas armadoras a mejorar ciertos procesos en sus automóviles, tal como ya sucedió en California ante la ley de emisiones cero⁸⁶, por lo que el cambio sería positivo en todos los sentidos. Sin embargo, existen algunos teóricos que afirman que la introducción de una nueva tecnología en el transporte requeriría un gasto en infraestructura que tardaría años en ser desarrollado y que implicaría necesariamente un esfuerzo gubernamental inmenso, desviando recursos que podrían ser mejor usados en la mejora de la eficiencia.

⁸² Conductores de automóviles particulares no están contabilizados pues no se les considera trabajadores, ya que ellos mismos reciben el servicio que proporcionan, solo se considera a transportistas en camiones, pilotos, marinos en cabina y conductores de transporte público.

⁸³Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009, 304 p.

⁸⁴ Robinson David, *The Impact of Higher Oil Prices on the Global Economy*, Prepared by the IMF Research Department, December 8, 2000, 46 p.

⁸⁵ Ibid. p. 12.

⁸⁶Katzer James R., “Interface Challenges and Opportunities in Energy and Transportation”, en *Energy and Transportation: Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century*, Organizing Committee for the Workshop on Energy and Transportation, Committee on Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century, National, pp. 23-32.

3.5 Infraestructura de transporte

Al hablar de infraestructura en lo referente al transporte nos referimos a las instalaciones básicas necesarias sobre las que está organizado este sector. En general los caminos siempre han existido junto con las formas de abastecer o albergar al caminante y su animal.

Debemos estar conscientes, al momento de estudiar las transiciones, que ya existe una infraestructura sobre la cual se mueven los diferentes vehículos. Así por ejemplo, un cambio radical en los automóviles implicaría que es necesario reemplazar la infraestructura refiriéndome no tanto a las carreteras o los caminos, sino mas bien a los centros de distribución de combustible (gasolineras), las refinerías, y que dado su largo periodo de duración y la coincidencia de la renovación de las mismas con el ciclo económico largo, se maneja como hipótesis que dichos cambios en la infraestructura energética sean causantes de los ciclos largos⁸⁷.

En tiempos pre-industriales, las calzadas eran principalmente hechas de cimientos de piedra con arena compactada⁸⁸ encima, sobre los cuales podían pasar animales, carretas y personas. A lo largo del mismo existían aposentos y lugares de aprovisionamiento en prácticamente todas las culturas y así como lo menciona Smil Vaclav “por milenios no hubo nunca nada más rápido que un buen caballo” y en algunas regiones ni siquiera se contaba con eso.

Y así como los caminos de arena y roca pasaron a ser secundarios en el panorama general de las comunicaciones, así también ha venido sucediendo con las vías férreas, las cuales se encuentran como el tercer medio de transporte más utilizado por número de pasajeros y en valor de carga, detrás del transporte aéreo y del terrestre, que por su velocidad y mayor independencia y variedad en las rutas han sido preferidos por sobre el transporte sobre rieles.

En plena industrialización muchos de los caminos fueron sustituidos rápidamente por rieles de tren, esto sucedía primeramente en los países desarrollados y posteriormente en países con un menor grado de avance⁸⁹, por ejemplo para el 21 de julio de 1836 los canadienses inauguraban su primera línea férrea que corría de Le Praine en Quebec a Saint-Jean-sur-Richelieu, mientras tanto los EE. UU. inauguraron su primera línea férrea el 24 de mayo de 1830 entre Baltimore y Maryland, en tanto que en México la primera línea que corría de México a Veracruz se inauguró el 1 de enero de 1873.

Si bien las fechas son triviales es significativo remarcar algunos puntos, en primer lugar, la relativa tardanza de México para entrar a esta era de trenes y con ello las enormes disparidades que ya existían y aun existen entre los tres países en esa época; en segundo lugar, que en todos los casos las vías de tren conectaban ciudades con puertos a ciudades sin ellos, es decir, empezaba la interconexión de modalidades y finalmente remarcar la enorme velocidad del cambio tecnológico: en apenas dos siglos ya nos encaminamos a una nueva transición energética, pasando de las carrozas a los rieles, y de ahí a los autos de combustión interna.

⁸⁷ Kondrátiev Nikolái D., “Los grandes ciclos de la vida económica”, en Gottfried Haberler (compilador), *Ensayos sobre el Ciclo Económico*, México, Fondo de Cultura Económica, 2ª ed. 1956, pp. 35-56.

⁸⁸ Desde los caminos Romanos, los Sacbes blancos mayas, las rutas Incas o bien todos los medios de transporte que las diferentes culturas han desarrollado siguiendo su geografía.

⁸⁹ De hecho México no fue de los países que tardo mas en poner un sistema de rieles, países africanos empezaron a construir lo necesario recién en los años 50 del siglo XX.

En términos de la infraestructura actual, la siguiente tabla nos ofrece un panorama general de la situación al 2007, panorama que es necesario examinar con cierto detenimiento.

Tabla 3 Infraestructura de transporte la región

	Canadá	México	EE.UU
	2007	2007	2007
LONGITUD DEL SISTEMA			
Red de carreteras (km)	1,409,000	360,075	6,513,377
Pavimentadas (km)	1,105,030	127,173	4,241,353
Grandes lagos (km ²)	2,662	NA	7,000
Vías navegables interiores (km)	2,825	NA	41,860
Red ferroviaria (km)	72,245	26,677	411,272
NÚMERO DE INSTALACIONES			
Aeropuertos (unidades)	1,111	1,425	19,988
Puertos marítimos e inst. portuarias (unidades)	225	37	149

Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

Una vez analizados los medios por los que se desplazan o se organizan los vehículos, es necesario analizar la manera en la que el petróleo ha encontrado una forma de movilizarse y con ello volverse una materia prima con un mercado mundial, a diferencia de otros energéticos, cuyos mercados son más pequeños como ya se mencionó en el caso del carbón.

Dentro de este medio la disparidad es abismal, como lo observamos en la tabla siguiente que muestra el número de kilómetros de oleoductos y gaseoductos, más no basta preguntarse la cantidad, sino también cuales son los puntos de origen y destino. En este sentido una buena cantidad de los ductos de Canadá y México se dirigen rumbo a las zonas urbanas de EE.UU. cercanas a su frontera.

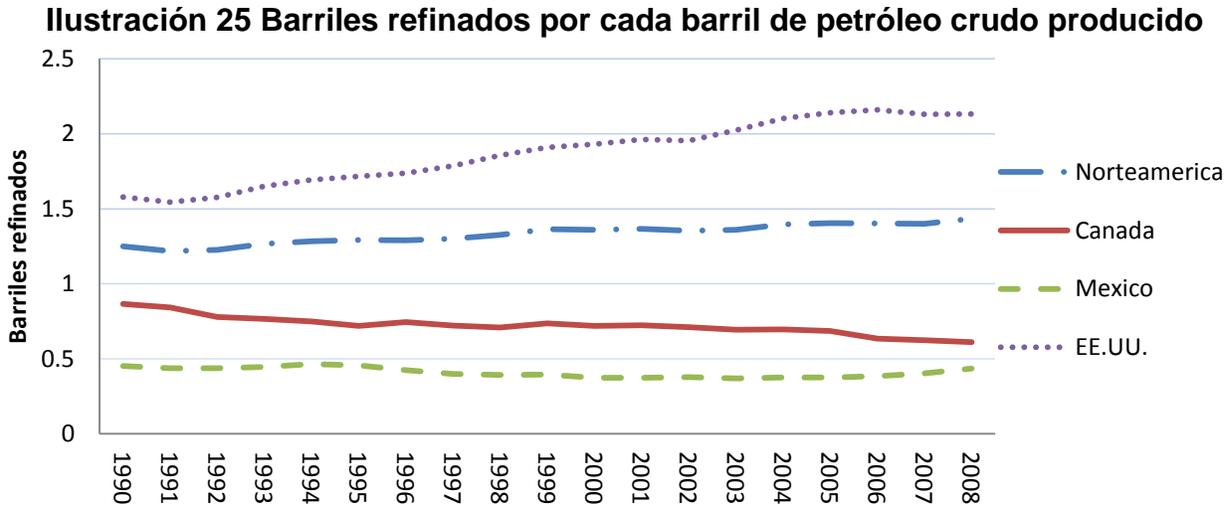
Tabla 4 Infraestructura de Transporte por ductos (en kilómetros)

	Canadá	México	EE.UU
	2007	2007	2007
Red de ductos	362,568	26,275	2,721,220
Gas (km)	316,828	16,843	2,446,510
Petróleo (km)	45,740	9,432	274,710

Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

Ahora bien finalmente dentro de la infraestructura necesaria analizaremos la capacidad de refinación. Para dicho fin utilizaremos como medidas no el número de refinerías operables, sino más bien el número de productos refinados que es capaz de producir en relación con su producción de petróleo crudo.

En la siguiente ilustración podemos observar cuantos barriles de productos refinados se producen por cada barril de petróleo crudo, que nos habla de la capacidad de producción de cada país.



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

Uno de los grandes retos de las transiciones energéticas es en primer lugar, seguir manteniendo la estructura del combustible anterior al mismo tiempo que construyendo la necesaria para el despliegue total del nuevo energético, y aunque la experiencia histórica muestra que es posible, nunca antes la estructura a conservar había sido de tal magnitud y es probable que su sucesora tenga que ser de una magnitud similar⁹⁰.

3.6 El consumo de energía en el sector transporte

Tal y como lo observamos en la primera parte de este capítulo, el transporte requiere energía para desplazarse, para construir los vehículos y por supuesto para mantenerlos, y aunque cada modalidad de transporte requiere combustibles particulares, la mayoría de las modalidades funciona, sin embargo, con refinaciones de petróleo.

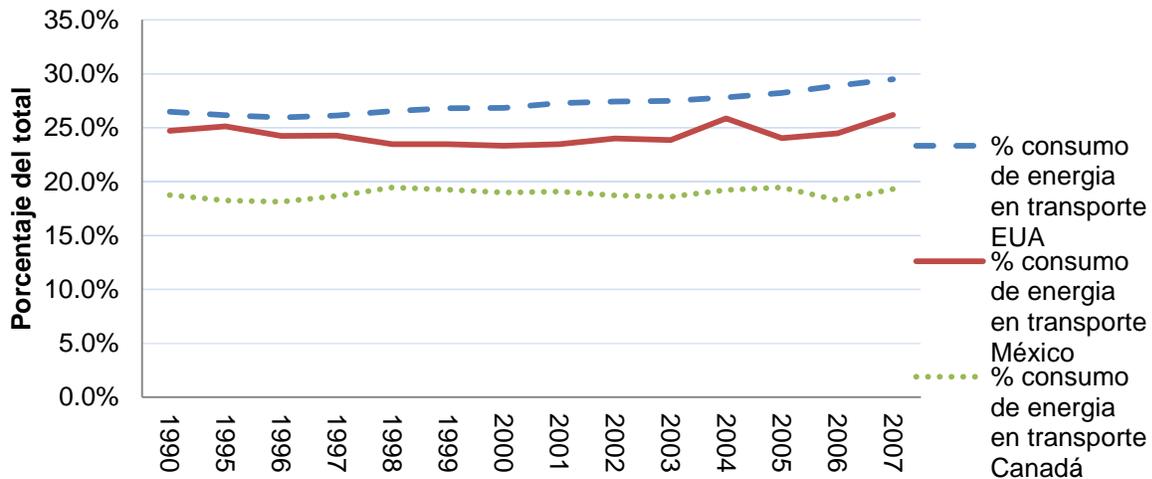
Dentro del sector transporte, el consumo de energía es muy desigual, siendo algunos medios de desplazamiento los que consumen la gran mayoría de la energía, que como ya sabemos proviene casi en su totalidad del petróleo; otros en cambio utilizan el petróleo de manera marginal. Es de destacar que pese a contribuir en la producción con el 12% en promedio, en los tres países, su consumo de energía primaria es más del doble en cualquier país de la región, por lo tanto, es fácil concluir que el sector transporte dentro

⁹⁰ No obstante algunos teóricos afirman que la transición energética siguiente se basara no en grandes complejos, sino en una sustentabilidad y estructura de autoconsumo, tal como sucede en África y en otras áreas en donde se han desarrollado las energías renovables.

de la economía es intensivo en energía, en mucho mayor medida que otros, como el de servicios o el agrícola.

En la siguiente ilustración podemos observar en porcentajes el consumo de energía primaria del total consumido por cada una de las tres economías, siendo Canadá el país que consume menor energía en su sector, y los EE. UU. el que consume un mayor porcentaje.

Ilustración 26 Consumo de energía del sector transporte como porcentaje del total consumido



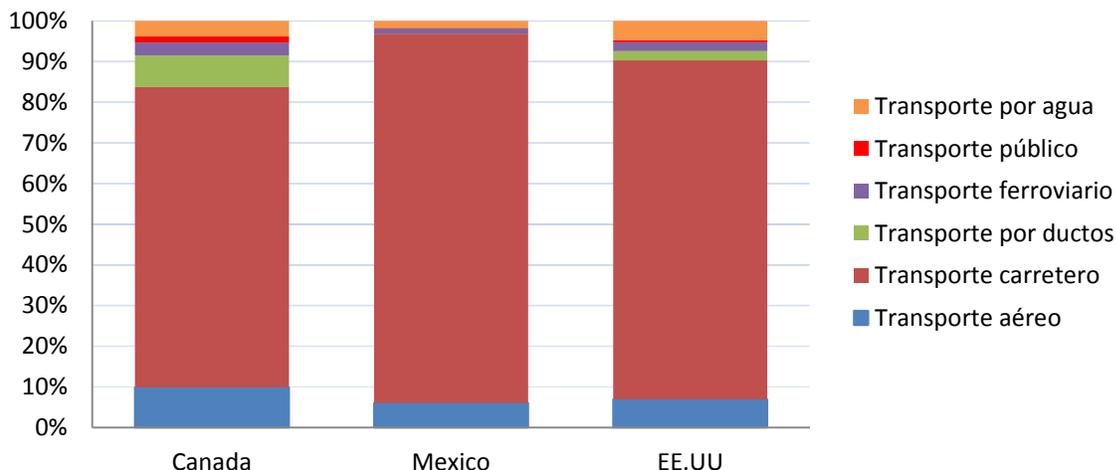
Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

3.7 Consumo por modalidad

Al plantear cual es la posibilidad de una transición en el transporte es necesario observar qué modo de transporte es aquél que consume más energía y qué tipo de combustible consume.

En la ilustración siguiente podemos observar el porcentaje de energía consumida por país en 2006, no se elaboró una serie temporal pese a contar con los datos, ya que al igual que en la fuerza laboral, la estructura en la que se divide la energía, poco ha cambiado desde los años 90 por lo que no se consideró necesario incluir una serie de datos más larga.

Ilustración 27 Consumo de Energía en el transporte por modalidad en 2006



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

Luego de observar la ilustración anterior y tablas presentadas podemos concluir que la mayor parte de la energía consumida en el sector transporte en la región, se consume en la modalidad que se desplaza en carreteras, es decir, autos ligeros, camiones, motocicletas y demás vehículos de combustión interna.

La razón de esto se puede explicar en parte a causa del descomunal tamaño del parque vehicular en dicha modalidad, no obstante, como se señaló en la tabla 16, también se debe a la enorme ineficiencia de este tipo de vehículos, el cual en su mayoría no logra una maximización de la distancia recorrida, ya que son manejados por usuarios cuyo fin último no es minimizar costos como sería el caso de una empresa, sino en ocasiones minimizar tiempos, aumentar velocidades o bien aumentar peso muerto en la forma de aire acondicionado, bocinas y demás comodidades.

Después de este medio de transporte terrestre se coloca el aéreo con una participación bastante reducida, aunque esto como ya se mencionó anteriormente, depende de factores como el ingreso y la disponibilidad de infraestructura, por ejemplo en Canadá se consume casi la misma energía en transporte aéreo y por ductos.

3.8 Contaminantes del transporte

Como en la mayoría de las actividades económicas, existen situaciones en las cuales hay un efecto colateral que no es tomado en cuenta por el consumidor. En economía a estas situaciones se les llama externalidades, de modo más preciso podemos referirnos a lo que de acuerdo con Hal R. Varian son las externalidades “decíamos que hay una externalidad en el consumo si a un consumidor le afecta directamente la producción o el consumo de otros”.⁹¹

⁹¹ Varian Hal, *Microeconomía Intermedia*, Edit. Antoni Bosch, 1994, pp. 45 -123.

Una vez entendido este concepto debemos admitir que el transporte tiene externalidades positivas tales como un mayor acercamiento entre las culturas lo que en el largo plazo genera paz y armonía, permite una especialización regional e incluso mundial y con ello mejora la producción total y además genera nuevas actividades económicas entre muchas otras; sin embargo, son las externalidades negativas las que por el momento se encuentran siendo discutidas más ampliamente por la comunidad internacional, ya que su efecto está empezando a generar serios problemas y nadie parece dispuesto a asumir la culpa o al menos a plantear una solución al mismo.

Básicamente podemos mencionar que hay tres tipos de externalidades negativas del transporte: la primera de ellas es la contaminación atmosférica, la segunda el ruido y finalmente los accidentes que genera.⁹²

Dentro de las externalidades es conveniente, para facilitar su análisis, dividir las de acuerdo con los alcances de los efectos que tienen sobre la población, si sus consecuencias se dejan sentir a nivel global o bien sólo en la región en donde se genera la actividad; en razón de esto consideraremos que la contaminación atmosférica es tanto local como global, en tanto que las otras dos son netamente locales.

La contaminación es un problema relacionado especialmente con las concentraciones urbanas. Prácticamente los tres países son urbanos: para el caso mexicano, alrededor de un 77%, el caso canadiense de un 80% y el caso norteamericano, siendo el más urbanizado, con el 82% de su población viviendo en ciudades.⁹³ Y dentro de ellas, una gran responsabilidad cae directamente sobre el sistema de transporte, ya que por su modo de expulsar los gases producto de la combustión, son más perceptibles, tal es el caso de los automóviles, camiones y motocicletas.

3.9 Contaminantes globales de efecto invernadero

Si bien los gases de efecto invernadero son muchos, nos enfocaremos solamente en tres de ellos, por ser los más dañinos, los más producidos y de los que podemos constar con estadísticas y datos más fácilmente. Por lo tanto, nos referimos al:

CO₂ dióxido de carbono o bióxido de carbono

Oxido de nitrógeno N₂O

Metano M₄

Sin duda el gas de efecto invernadero más producido es el dióxido de carbono por la economía en general y también dentro del sector transporte. Este gas se genera principalmente en la combustión de hidrocarburos o carbón, aunque también se genera en algunos procesos industriales y agrícolas, como la producción de hidrógeno, la fermentación de la caña de azúcar o la cebada, la producción de fosfato de sodio utilizado en la industria alimenticia y en la utilización de ciertos fertilizantes y una agricultura intensiva, es claro sin embargo, que la mayor producción de CO₂ proviene de la combustión de combustibles fósiles.

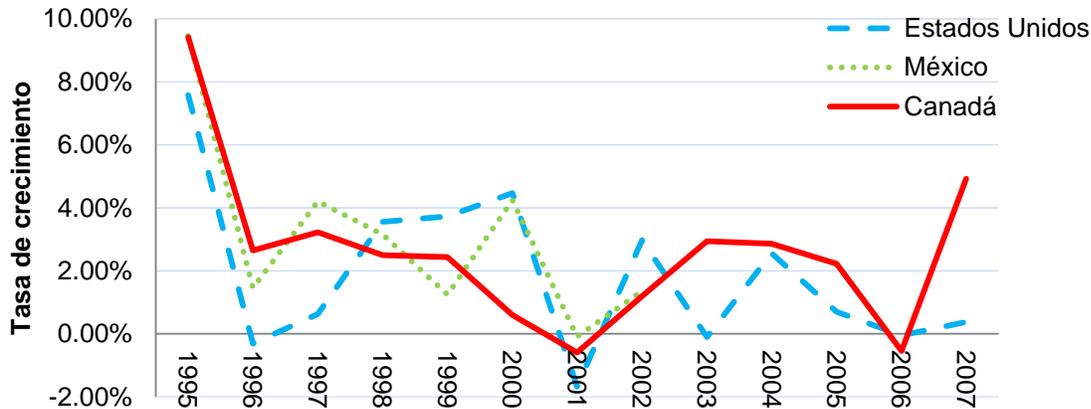
⁹² De Rus Gines; Campos Javier; Nombela Gustavo, 447 p.

⁹³ CIA World Fact.

El bióxido de carbono no es un gas letal para la salud humana; de hecho, la atmósfera ha tenido desde siempre una cantidad dada de partículas de este gas; la gravedad de la situación actual es que se ha incrementado esta concentración⁹⁴.

En este sentido, el principal problema no radica en la producción anual, sino en el acumulado de este gas, que tiene más de 200 años produciéndose de manera anómala.

Ilustración 28 Crecimiento del CO2



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

De igual manera a lo que sucede en el consumo de energía y como consecuencia de lo anterior, la contaminación de la modalidad de transporte terrestre es la mayor entre la de los otros modos de transporte, representando cerca de un 90% del dióxido de carbono generado en la región.

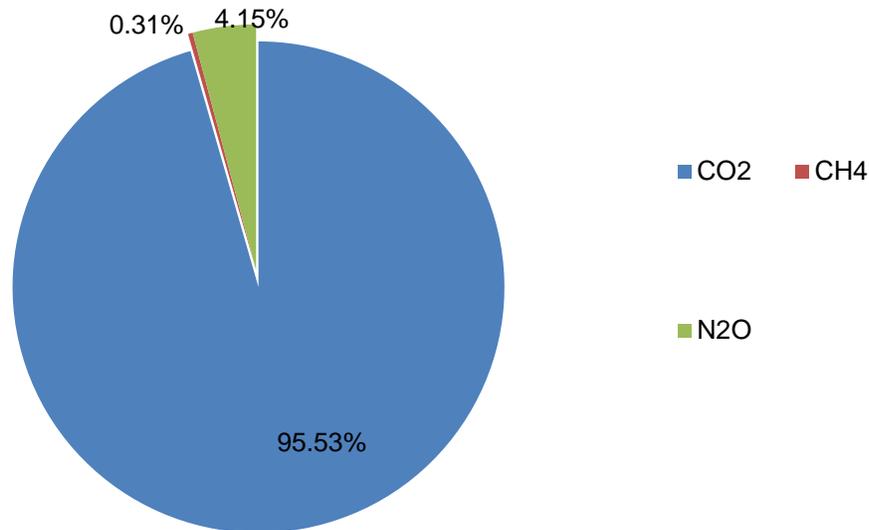
El CH₄, conocido como gas metano es principalmente producido por la industria petrolera, como subproducto de la refinación, lo que lo relaciona indirectamente con el sector transporte. La producción de dicho gas no ha tenido cambios desde 1990 tanto en Canadá como en México, no así en los EE. UU.

El N₂O u óxido de nitrógeno es un gas generado a altas temperaturas, y se encuentra principalmente en zonas industriales, particularmente en Europa, la parte noreste de los EE. UU. y también en la parte más oriental de China, siendo muy escasamente producido por el sector transporte.

En general el sector transporte tiene la siguiente proporción, de acuerdo con lo mostrado en la siguiente ilustración.

⁹⁴ Forster P.; Ramaswamy P. Artaxo; T. Berntsen; R. Betts; D.W. Fahey; J. Haywood; J. Lean; D.C. Lowe; G. Myhre; J. Nganga; R. Prinn; G. Raga; M. Schulz; R. Van Dorland, 2007: *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. in: climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Pp. 199-209.

Ilustración 29 Porcentaje de toneladas por tipo de contaminante al 2005



Fuente: Elaboración propia con datos de North American Transportation Statistics Database.

3.9.1 Contaminantes locales

La mirada de la prensa y en general de los medios a los contaminantes causantes del calentamiento global ha provocado que se ignoren otros impactos ambientales los cuales son mucho más locales como: el ruido, la emisión de partículas suspendidas, el ozono y por supuesto el monóxido de carbono CO, el cual es un gas venenoso que se produce cuando no existe una adecuada combustión.

A todos los contaminantes arrojados directamente a la atmósfera y generados por la combustión se les llama contaminantes primarios, algunos ejemplos son: el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.

Sin embargo, muchos de estos contaminantes sufren reacciones químicas lo que genera a su vez compuestos más dañinos como el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y algunos tipos de partículas. A todos estos contaminantes se les llama contaminantes secundarios⁹⁵.

Sus efectos en la salud humana han sido estudiados extensamente, se les ha atribuido ser cancerígenos, generadores de alergias y en el caso del plomo, como veneno, si se les aspira o consume en grandes cantidades. El impacto económico es altísimo, especialmente en gastos médicos.

Otro de los grandes problemas que se presenta es la lluvia ácida, la cual consiste en acumulación de agua de la lluvia, la nieve, la niebla o el rocío que se acidifican cuando los contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂) o los óxidos de nitrógeno (NOx) reaccionan con la humedad de la atmósfera y forman compuestos ácidos, que eventualmente terminan afectando no solo la salud humana, también las tierras de cultivo,

⁹⁵ Dirección URL: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/index.php?opcion=20>, (Consulta 12 de enero de 2010).

jardines y en muchos casos generando un desgaste de estructuras y fachadas de los hogares.

Un problema más es aquél que se produce, no por la combustión del petróleo, sino por el transporte del mismo al lugar de consumo o procesamiento, tal y como sucede en la actualidad con muchas de las cosas que consumimos; su producción tiene un origen muy distante al lugar en que se consumen finalmente, en algunas ocasiones es otra ciudad, otro país e incluso otro continente.

El transporte por medio de redes de ductos es importante, sin embargo, los efectos nocivos que tiene la resquebrajadura de alguno de ellos es causa de serias preocupaciones.

Todos los problemas anteriores son sufridos únicamente por la población circundante, aunque suele darse el caso de que afecten a comunidades más lejanas; sin embargo, sus efectos no se encuentran limitados al lugar en donde se hallan los vehículos, la industria y los generadores.

Todos estos problemas de carácter local tienen poca relevancia a nivel mundial, sin embargo, significan, en la mayoría de los casos, un deterioro en la calidad de vida de las personas de las grandes ciudades, y de ahí la necesidad de plantearnos la idea de que una transición en el sector transporte debe significar también la eliminación de estos problemas y no solo de aquellos de carácter global.

Podemos observar que muchos de estos problemas son causantes de enfermedades en la población y un incremento en los gastos de salud, por lo que representan también un alto costo económico.

Es así que el transporte presenta un lado oscuro, el cual es necesario superar, ya que de otro modo será imposible mantener un crecimiento que garantice la inserción de los millones de personas que carecen de un transporte confiable, y de otros tantos que buscan mantener y mejorar sus vehículos.

3.10 Conclusiones preliminares

El transporte se ha revolucionado en los dos últimos siglos, permitiendo ampliar el radio de acción de los habitantes; es en sí mismo un sector revolucionario ya que ha sido quien ha visto nacer todas las transiciones energéticas en su industria.

En la actualidad, el petróleo es el combustible clave del transporte: el sector consume cerca de 55% de todo el petróleo producido en Norteamérica.

En términos económicos, el transporte no sólo es importante por lo que produce sino por las conexiones sociales, el hecho de que permite el comercio, las industrias ligadas y el valor agregado que genera en todos sus usuarios.

Por eso es importante tener bien preciso cual es el alcance de una transición energética, la cual tendrá efectos muy amplios en las armadoras, servicios auxiliares, como mecánica y de abastecimiento, pero prácticamente nulos para la parte de la conducción.

De todas las modalidades existentes de transporte, la más usada es el transporte terrestre y la que más contaminantes genera, particularmente CO₂. Es por ello que se ha puesto más atención en que la próxima transición energética sea más limpia y con menores efectos negativos.

4 Capítulo IV: Tecnologías y Combustibles complementarios del sector transporte terrestre

¡Amigos míos!, creo que el agua se usará un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados, aislada y simultáneamente, producirán una fuente de calor y de luz inagotable y de una intensidad mucho mayor que la de la hulla. El agua es el carbón del porvenir.

Julio Verne

El objetivo central de este capítulo es comprobar que, dadas las condiciones actuales de instalaciones disponibles y penetración en el mercado de los vehículos alternativos, es poco probable que en el corto plazo, es decir, manteniendo la infraestructura (capital) constante, haya un cambio en el parque vehicular de la región de Norteamérica.

Buscaremos demostrarlo tomando como referencia los datos y variables de los capítulos II y III, así como utilizando los conceptos de transición energética, base energética y los diferentes enfoques de cambios tecnológicos estudiados en el capítulo I, para explicar cuales son las tecnologías potenciales a complementar, que no sustituir, a los automóviles de gasolina y diesel, analizando principalmente las desventajas de cada uno.

Se hablará del cambio tecnológico en el sector transporte y se dará un breve esbozo del desarrollo histórico de cada una de las tecnologías alternativas analizadas en este apartado, desde su origen a la actualidad.

Se discutirán los siguientes combustibles: el gas natural, los biocombustibles de primera y segunda generación, la electricidad y el hidrógeno, ya sea en la forma de celdas de combustible o como carburante directo, básicamente para la modalidad terrestre del transporte, que como analizamos en el capítulo anterior, es el principal consumidor de petróleo.

Al hacer este análisis, se buscará dar trazos generales de las políticas públicas que pueden tener un impacto en la transición, estableciendo que el proceso de la transición energética es un proceso “natural del ciclo económico” impulsado por el desarrollo tecnológico, el descubrimiento de nuevos combustibles y su aplicación a nuevas actividades económicas, por lo que no debe esperarse que las directivas estatales tengan un efecto importante; en general, será un impacto limitado y en algunos casos restringido al tiempo que dure el programa gubernamental.

4.1 Transición, complementos o sustitutos

Instituciones como la IEA o el Departamento de energía de los EUA⁹⁶, asumen, de manera más implícita que explícita, que la búsqueda de nuevos combustibles para autos tiene la finalidad de “sustituir”, aunque sea en una pequeña proporción, nuestro actual

⁹⁶El ejemplo más claro de este optimismo es S/ autor, *Automotive Fuels for the Future*, (Energy Information Administration), Paris, 2000. 88 p. en el cual describe la disminución del parque vehicular norteamericano y la introducción del etanol en gran escala (+15%) en los próximos 5 años.

parque vehicular movido a base de petróleo; y de hecho, esa fue durante la mayor parte de este texto la premisa, no obstante esto es simplemente un pensamiento optimista que en los hechos tiene poco fundamento ya que, como vimos en la ilustración 2 del capítulo I, la introducción del carbón no aminoró el uso de la madera, en todo caso permitió el desarrollo de nuevas actividades y de otro tipo de vehículos; lo mismo sucedió con el carbón cuando la introducción del petróleo, su consumo simplemente no ha descendido desde entonces, aunque sí ha disminuido su tasa de crecimiento. Es por ello que podemos esperar que con la introducción de un nuevo combustible no exista realmente una sustitución en el sentido tradicional de la palabra, en todo caso, la introducción de automóviles movidos con otros combustibles permitirá toda una serie de nuevas actividades económicas y sociales.

4.1.1 El desarrollo de la tecnología en el sector transporte

Al hablar de cambio tecnológico en el sector transporte debemos recordar dos aspectos. En primer lugar debemos retomar lo dicho en el primer capítulo acerca de los innovaciones radicales e incrementales en el enfoque evolutivo propuesto por Van den Bergh, ya que aun cuando, desde el desarrollo de los motores a gasolina y diesel en los automóviles, las innovaciones en la industria han sido claramente incrementales; podemos hablar de innovaciones radicales cuando hablamos del motor de hidrógeno y el motor eléctrico⁹⁷ y de incrementales al hablar del desarrollo del convertidor catalítico, los frenos de aire y la carrocería de fibra de vidrio, estas últimas innovaciones hechas para aumentar la eficiencia del automóvil, es decir aumentar el número de kilómetros por litro de gasolina o bien para hacerlos más seguros ante un siniestro.

Un segundo aspecto a tomar en cuentas es el hecho de que existen ciertos desarrollos que pese a contar con un decidido impulso en su origen, pronto muestran la imposibilidad/peligro o bien sus limitantes. Hay ejemplos históricos de tal situación: los zeppelines y los aviones comerciales supersónicos. Al parecer ese será el destino de los autos de hidrógeno debido a su alto costo⁹⁸, las controversias acerca del riesgo de explosión y algunos otros asuntos relativos a la viabilidad ecológica, ya que como se verá más adelante si bien la operación del auto es totalmente limpia, la producción del hidrogeno requiere de grandes instalaciones, mismas que en general funcionan extrayendo el hidrógeno de los hidrocarburos, generando así CO₂, algunos investigadores⁹⁹ asumen que el método de steam reforming (reformación a vapor) en un balance general no disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero específicamente CO₂.

Si bien es cierto que muchas innovaciones pueden terminar en un punto muerto, también es posible que sea simplemente que su aparición se dio en un momento poco

⁹⁷ Bergh Van; C.J.M. Jeroen; Oosterhuis Frans, *An Evolutionary Economic Analysis of Energy Transitions*, Amsterdam, June 2005, paper in edition, pp 11-15

⁹⁸ Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009, pp. 123.

⁹⁹ Katzer James R., “*Interface Challenges and Opportunities in Energy and Transportation*”, en *Energy and Transportation: Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century*, Organizing Committee for the Workshop on Energy and Transportation, Committee on Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century, National, pp. 23-32.

propicio para su desarrollo. Igualmente podemos encontrar ejemplos históricos de esto, el caso más obvio es precisamente el del automóvil en el siglo XIX en donde se consideraba un lujo con pocas funciones prácticas, siendo hasta 1920 en donde su importancia en la sociedad se vuelve innegable.¹⁰⁰

Muchas de las energías “limpias” o renovables en la actualidad tiene poco impacto en el sector transporte, ya que este sector requiere cumplir con ciertos estándares de velocidad, carga y autonomía, en donde muchos de los combustibles alternativos simplemente no pueden competir con los autos de combustión interna, y por lo tanto no pasan de ser sino meras anécdotas en el desarrollo de una alternativa al petróleo¹⁰¹; por poner algunos ejemplos: los pocos diseños que existen de un auto solar son por decir lo menos inoperables e incapaces de ser comercializados en gran escala, en parte por sus limitaciones técnicas como carga y velocidad; claro, la energía solar no es ni de lejos la más apropiada para el sector transporte, pero es un buen ejemplo del punto al que queremos llegar: para que las tecnologías alternativas sean viables, deben cumplir por lo menos, con los mismos estándares que los actuales motores movidos a gasolina, estándares que dadas las innovaciones incrementales a su alrededor son muy altos, en lo referente a velocidad, seguridad y confort. Quizá tan altos que en sí mismos representen una barrera de entrada a los combustibles “alternativos”. Es difícil competir con la autonomía de un motor de combustión a gasolina o con la relativa facilidad para su reparación en contraste con un auto de hidrogeno que tiende a requerir de personal altamente especializado para buena parte de sus componentes.¹⁰²

No debemos descartar sin embargo que la tecnología avanza a grandes pasos y que el lugar de dichos combustibles cambie rápidamente dentro de la sociedad,¹⁰³ pero dado que es una variable sobre la que se tiene poco control, lo mejor no es buscar la solución en el rápido avance de la tecnología futura, sino en todo caso hacer viable económicamente las tecnologías actuales por medio de políticas de precios¹⁰⁴ o bien desarrollando la infraestructura necesaria para facilitar su difusión a gran escala, ya que éste es uno de los principales problemas con los que las nuevas tecnologías se están enfrentando.

Si bien no todas las tecnologías limpias tienen una aplicación directa en el transporte, hay, sin duda, algunas que, dado el nivel actual de desarrollo, representan una esperanza real como complementos al petróleo, si se aplican las políticas adecuadas de gravámenes fiscales sobre derivados del petróleo y deducciones al consumidor de combustibles ecológicos, no obstante no todas presentan las mismas ventajas desde el punto de vista ecológico, siendo algunas de ellas igual de contaminantes.

Son cuatro las tecnologías que están siendo y serán centrales en la búsqueda de la sustitución del petróleo como fuente principal de energía en el sector transporte, tal y como lo menciona la Agencia Internacional de Energía en su boletín de abril de 2004¹⁰⁵,

¹⁰⁰ Smil, V. 1994. *Energy in World History*. Westview Press, Boulder, CO, pag 211.

¹⁰¹ Facultad Regional Avellaneda, “el auto solar del siglo XXI, panfleto informativo.

¹⁰² Krepcio Kathy, “*Green Jobs and their Role in our Economic Recovery*”, en Testimony before the House Committee on Education and Labor, Subcommittee on Workforce Protections, 2009, 6 p.

¹⁰³ New materials for renewable energy The power of being made very small Jul 2nd 2009 The Economist print edition, en el artículo se menciona el desarrollo de nanopartículas que mejorarían la absorción de celdas solares hasta en un 50%.

¹⁰⁴ Aquellas cuyo desarrollo se encuentra frenado no por la infraestructura o el desarrollo tecnológico como el biocombustible. Kwon Eunkyung; Leather James A., Urban Transport Energy Efficiency, Asian Development Bank (ADB), Diciembre 2006, Nota Técnica.

¹⁰⁵ Fulton, Lew, “*Reducing Oil Consumption in Transport: Combining Three Approaches*”, IEA/EET Working Paper abril 2004

las cuales son: el gas natural, los biocombustibles, el auto de motor a base de hidrógeno, ya sea como motor de celda de combustible o bien en forma de motor tradicional de combustión interna y los autos eléctricos.¹⁰⁶

A lo largo de su historia, el sector transporte ha sido líder en la implementación de nuevas tecnologías radicales, sin embargo, no son precisamente los líderes de la industria en su momento los que iniciaron el cambio, por el contrario, han sido ajenos a dicho sistema. Es entendible que muchas veces los líderes no estén dispuestos a innovar dada la enorme infraestructura¹⁰⁷ que existe tanto a nivel público como privado; en ese sentido; los líderes de la industria sólo promueven, en general, los avances tecnológicos incrementales, aunque hoy en día algunas armadoras también están haciendo un intento por ganar dicho mercado, el de los autos “ecológicos”, que pese a todo sigue siendo pequeño y poco rentable.

Podemos decir entonces que no debemos esperar un cambio tecnológico de las grandes armadoras, por el contrario, serán nuevas empresas las que tengan que desarrollar esta tecnología y buscar implementarla, en muchos casos a contracorriente de las empresas ya establecidas, por ejemplo en la actualidad (2009) de las diez empresas más grandes dedicadas a la generación de automóviles eléctricos en Norteamérica, sólo dos de ellas son subsidiarias de las grandes compañías, éstas son la: Chevrolet Electric y la American Honda Motor Co.¹⁰⁸, el resto son compañías relativamente pequeñas más cercanas a industrias de la computación o la industria eléctrica, algunas de ellas se encuentran incluso dentro de Silicon Valley como Tesla Motors.¹⁰⁹

La experiencia histórica en este sentido es también clara, ya que no fueron las compañías ferroviarias las que gastaron en el desarrollo del motor de combustión interna, del mismo modo que pese a sus intentos no será la Volkswagen o la Ford la que desarrollen e impulsen el etanol o los autos eléctricos a gran escala.¹¹⁰

Si bien las mejoras tecnológicas tienen, relativamente, una rápida difusión en el mundo actual, ya que en cuanto se conocen, se puede disponer de las mismas en diferentes puntos con rapidez, es el desarrollo de infraestructura para poner en práctica la nueva tecnología junto con el hábito de consumo del comprador y su poder de compra, lo que finalmente determina que tan rápido se darán los cambios y cuan profundos serán. Estos dos aspectos son en general más lentos, por lo que la difusión no es inmediata.

De hecho hay una larga historia de las tecnologías de ahorro de combustible y muestra que el tiempo de espera entre la invención y el concepto de la primera

¹⁰⁶ Olah, George, Goeppert Alain prakash Surya, “Beyond Oil and Gas: the methanol economy” Wiley VCH, California 2006

¹⁰⁷ Katzer , James R. “*Interface Challenges and Opportunities in Energy and Transportation*” En “*Energy and Transportation: Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century*”, Organizing Committee for the Workshop on Energy and Transportation, Committee on Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century, National

¹⁰⁸ Compañías que en su momento pudieron haber desarrollado el Carro Eléctrico como General Motors, no lo hicieron y de hecho algunos afirman que retrasaron su aparición, específicamente del General Motors EV1, para mayor información hay un documental “*Who Killed the Electric Car?*”

¹⁰⁹ Pieterse W., “Geopolitics of Energy Transitions”, en Paper presented at the annual meeting of the ISA's 50th ANNUAL CONVENTION “EXPLORING THE PAST, ANTICIPATING THE FUTURE, USA, New York Marriott Marquis, 2009, p 10.

¹¹⁰ Es probable que se mencione que en algunos lugares si lo han hecho como en Brasil, pero es más fácil entender dicho proceso como algo local impulsado por el gobierno o por las condiciones locales y no como un proceso de transición global de acuerdo a Carlota Pérez

introducción comercial en gran escala de las nuevas tecnologías pueden ser de varias décadas.¹¹¹

Tal como lo menciona John Heywood “Entre aplicar las nuevas tecnologías en la producción de vehículos y lograr la sustitución completa del parque vehicular puede tomar de veinte a cincuenta años”.¹¹²

4.2 Las tecnologías complementarias.

4.2.1 El gas natural

La opción más viable en la actualidad es el uso del gas natural tanto licuado (GNL) o como gas natural comprimido (GNC). Su uso ha comenzado relativamente después que otros combustibles. Es en los años 80s que, después del choque de precios petroleros en Nueva Zelanda, se implementó primero en el transporte público y posteriormente en algunos automóviles particulares, esto gracias a un fuerte impulso gubernamental del entonces primer ministro Sir Robert David "Rob" Muldoon. Al finalizar los apoyos gubernamentales con el cambio de gobierno, el impulso al programa de gas natural perdió apoyo. No obstante, en los 8 años de su gobierno logró que 10% del parque vehicular de Nueva Zelanda utilizara GNL. Desde entonces, otros países han intentado experimentos similares. Es por ello que su uso se encuentra más difundido que cualquier otra de las tecnologías que aquí mencionaremos y puede contar con el apoyo de las actuales compañías petroleras, ya que en buena medida la infraestructura de extracción del petróleo es la misma que se utiliza para obtener gas natural.

Los centros de abastecimiento actuales (gasolineras) también pueden ser adaptados con relativa facilidad para albergar estaciones de recarga de gas natural, de hecho hoy en día cerca del 8% de las gasolineras en la región pueden suplir ambos combustibles.¹¹³

Sin embargo hay todavía serios inconvenientes que necesitan ser resueltos antes de considerar al gas natural como el combustible de la transición energética.

Hay opiniones como la de Robert Uyres que afirma que el uso del gas natural es inviable para su uso en gran escala, por dos grandes razones: en primera instancia, no representa una mejora ecológica significativa con respecto al petróleo, esto en relación a las emisiones de dióxido de carbono que arroja al ambiente por unidad de energía.

En la tabla 5 podemos observar las comparaciones de la gasolina y el diesel, versus los combustibles alternativos que hemos sugerido como los mas “importantes” o cuyo uso es más probable.

En primer lugar se encuentra el radio de partículas de carbono por partícula de Hidrogeno, es decir, en una molécula de gasolina cuantos átomos de carbono hay por cada uno de hidrogeno; el segundo y tercer apartados de energética neta establecen en qué forma es más eficiente utilizar el combustible, por ejemplo, entre mayor sea el número

¹¹¹ Andreas Schafer, John B. Heywood, Henry D. Jacoby, and Ian A. Waitz, “Transportation in a Climate-Constrained World” MIT press, Massachusetts 2009, pag 108, Cap IV

¹¹² Idem pag 110

¹¹³ En México esa proporción es de 3% y en Canadá de 5%, pero como promedio de la región es 8%, North American Transportation Statistics Database

quiere decir que tiene más energía en una unidad de capacidad o peso (litro y kilogramo), en la columna de la densidad del combustible dicho número nos habla de qué tan denso es el combustible, es decir cuánto pesa un litro de gasolina o de gas natural.

Debemos tener bien presente cual es el significado de cada uno de estos indicadores pues los utilizaremos con cada una de las tecnologías por analizar.

Tabla 5 Comparación de los derivados del petróleo versus Gas natural

	Radio de partículas de Carbono/Hidrogeno	Energía neta MegaJouls por litro	Energía neta MegaJouls por Kilogramo	Emisiones directas gramos de CO ₂ por MegaJoul	Densidad del combustible Gramos por litro
Combustible Transporte					
Diesel	0.55	35.5	42.5	74.8	835
Gasolina	0.54	32.2	43.5	73	740
(Gas natural)Metano					
CNG	0.25	10.4	50	55	208
LNG	0.25	21	50	55	420

Fuente: Elaboración propia con datos de Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009

Podemos observar en la tabla número 5, que la gasolina genera de manera directa 74.8 gramos de emisiones de CO₂ por unidad energética (MegaJoul MJ) en tanto que las emisiones del gas natural son de 55, lo que representa un ahorro, sin embargo dado que su uso es liquido o gaseoso, su energía neta por litro de combustible es menor que la de la gasolina, por lo que para hacer el mismo trabajo se pueden llegar a requerir de 1.5 hasta 3 litros de gas natural por cada uno de gasolina para realizar el mismo trabajo, por lo que general es prácticamente el mismo nivel de emisiones que con la gasolina.

La segunda razón que da Robert Uyres es que no resuelve los problemas geopolíticos que tiene el petróleo, ya que su distribución geográfica es bastante similar, con países como Rusia, Irán, Arabia Saudita, Kuwait y Venezuela ostentando más de la mitad de las reservas mundiales de gas.¹¹⁴, siendo estos países considerados por algunos como autoritarios y dispuestos a usar los recursos energéticos como instrumento para hacer presión política¹¹⁵.

En la actualidad, el número de automóviles que existen en circulación y que usan gas natural; todavía es muy bajo en relación al tamaño del parque vehicular de los EE.UU, país del que tenemos datos disponibles, y que ronda las 250 millones de automóviles al 2010, en la actualidad por cada automóvil que funciona con gas natural hay 192 que

¹¹⁴ The Economic Growth Engine, Robert U. Ayres

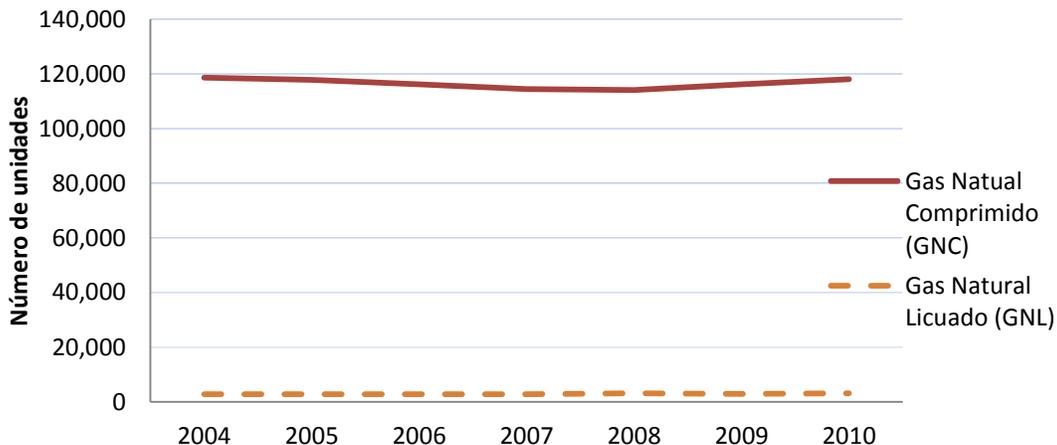
¹¹⁵ Huntington Samuel, *The clash of civilizations and the remaking of world order*, New York, 1996 p.34-45

funcionan a gasolina; es probable que dicha proporción sea muy similar en los otros dos países.

Como lo podemos observar en la siguiente ilustración, el número de vehículos alternativos sigue siendo pequeño, además la tasa de crecimiento es baja, ya que desde el año 2004 al 2010 existe prácticamente la misma cantidad de unidades, por lo que no podemos esperar que en los próximos años se incremente rápidamente el parque vehicular de automóviles que funcionan con gas natural.

En dicha grafica se muestra el número de vehículos que usan tanto gas natural licuado, como gas natural comprimido; en general, el número de unidades que usan este último es mucho mayor, lo que probablemente se deba más a una preferencia del usuario o a la industria proveedora que a una ventaja real en el uso de del GNC sobre el GNL.

Ilustración 30 Vehículos que funcionan con Gas Natural en Circulación en EUA



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

4.2.2 Biocombustibles

El uso de biocombustibles pudiera resultar tentador como solución ya que se requiere una baja inversión en la reconversión de una infraestructura de transporte basada en el petróleo a una basada en el etanol, ya que en general los automóviles pueden funcionar con ambos. Tal es el caso del Volkswagen Gol 1.6 Total Flex y el Corsa 1.8 Flexpower de Chevrolet, ambos producidos en Brasil.¹¹⁶ De hecho en la región hay cerca de doce millones de automóviles que pueden usar la mezcla de etanol a 85% con el restante 15% de gasolina. Es decir, la transformación en el parque vehicular es mínima y

¹¹⁶ Álvarez Maciel, Carlos, *“Biocombustibles: Desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional”* en *Economía* núm. 361 (noviembre-diciembre 2009)

existen experiencias que pueden ser analizadas y tomadas de ejemplo como la de los EE.UU., Brasil o Alemania que tienen una importante producción de etanol¹¹⁷.

Sin embargo, pese a las notables ventajas que posee, existen todavía razones que lo colocan en el centro del debate y que impiden incrementar su uso a escala masiva.

En primer lugar existe una seria preocupación acerca del impacto en los precios de los alimentos, esto a partir de dos lógicas: primero, el desplazamiento de miles de hectáreas dedicadas anteriormente a la producción de cereales para el consumo humano como maíz y trigo, siendo ahora empleadas en cultivos bioenergéticos como el mismo maíz o la caña de azúcar.

Lo anterior es en realidad una simple reacción del mercado ante cambios en la demanda, desplazando cultivos menos solicitados y por ende con precios menores por otros que tienen una demanda mayor; sin embargo, sus consecuencias en aquella población cuyo ingreso dedica en gran parte a la compra de alimentos son devastadoras, aún si, como lo menciona Bruce Babcock, el uso de biocombustibles eleva marginalmente el precio del de los alimentos. De acuerdo al estudio realizado por este mismo autor, el aumento en un 30% del precio del maíz eleva en solamente 1.3% el gasto destinado a los alimentos en EE.UU.¹¹⁸, lo cual no obstante puede ser muy diferente para países como México, cuya población depende más del maíz para su alimentación y que en general es más pobre.

En segundo lugar se ha manejado como obstáculo la viabilidad ecológica y energética en términos de tierras cultivables para sustituir¹¹⁹ los millones de litros de gasolina consumidos en la región, es decir, en algunos casos la producción de una cantidad dada de maíz requiere de una buena cantidad de petróleo para poder producirse, ya sea en la forma de abonos, combustible para tractores y procesamiento de la materia, por lo que en tal caso, la demanda de petróleo no sólo no disminuiría ante un aumento en la producción de etanol y biodiesel, sino que muy probablemente aumentaría.

Al mismo tiempo existen serias dudas de que el maíz pueda ser producido en las cantidades necesarias para alimentar y producir etanol en Canadá y México, pues existen fuertes diferencias en productividad agrícola con respecto a Estados Unidos, especialmente en el cultivo del maíz.¹²⁰, se tiende a pensar que se requiere una hectárea para producir entre 3000 a 5000 litros de etanol, dependiendo de la cantidad de maíz y de la planta usada para transformar la materia prima.

No obstante podemos hablar de que se han estado desarrollando opciones al uso de estos cultivos, sin embargo todavía se encuentran en proceso de pruebas.

En general podemos dividir a los biocombustibles en dos apartados principales, de acuerdo a la división de la IEA (International Energy Agency), que la elabora a partir del modo en que son producidos; sin embargo esta clasificación no es única, ya que por ejemplo, el Departamento de Energía de los EE.UU. los cataloga como etanol y biodiesel sin importar la forma de obtención.

¹¹⁷ Estos tres países son los mayores productores de etanol del mundo de acuerdo a la IEA, solo estos tres países producen el 80% del total de biocombustibles en todo el mundo, siendo los EE.UU. el más importante que produce el 43%.

¹¹⁸ Bruce A. Babcock, "Breaking the Link between Food and Biofuels", *Briefing Paper 08-BP 53* July 2008, Center for Agricultural and Rural Development, IOWA State Uni.

¹¹⁹ Idem pag. 26

¹²⁰ Idem pag 23

En este caso utilizaremos la forma de división usada por la Agencia Internacional de Energía, ya que es más práctica para nuestros fines, pues muestra los distintos efectos que tendría privilegiar una materia prima natural sobre la otra.

En la tabla 6 observamos la comparación del biocombustible en sus dos modalidades con la gasolina.

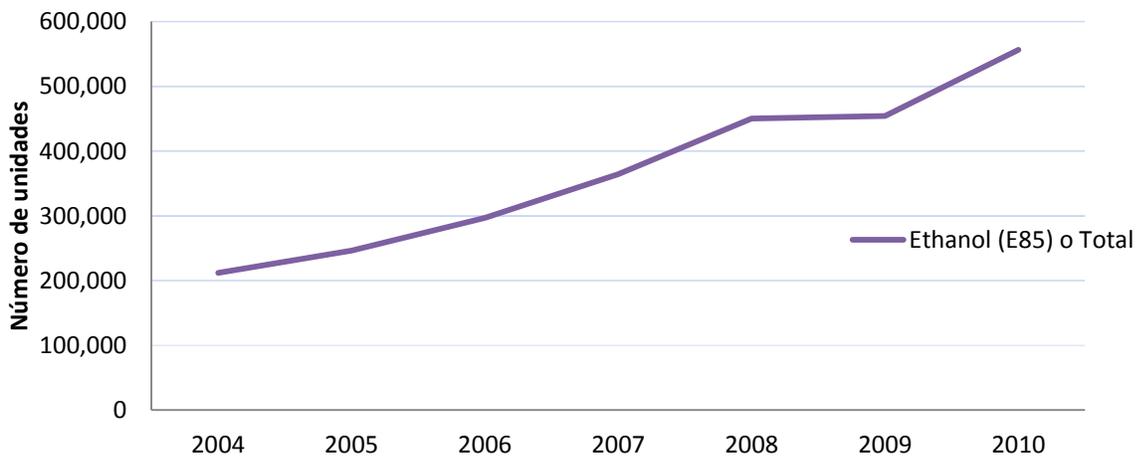
Tabla 6 Comparación de los derivados del petróleo versus Biocombustibles

	Radio de partículas de Carbono/Hidrogeno	Energía neta MegaJouls por litro	Energía neta MegaJouls por Kilogramo	Emisiones directas gramos de CO2 por MegaJoul	Densidad del combustible Gramos por litro
Combustible Transporte					
Diesel	0.55	35.5	42.5	74.8	835
Gasolina	0.54	32.2	43.5	73	740
Alcohol					
Etanol	0.33	21.3	26.8	71.4	795
Metanol	0.25	15.6	19.7	69.8	790

Fuente: Elaboración propia con datos de Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009

En la ilustración 31 podemos observar la cantidad de automóviles que funcionan hoy en día con biocombustibles, no obstante es necesario aclarar que el número de automóviles que son capaces de funcionar con una mezcla de hasta 85% de biocombustible es mucho mayor, siendo cerca de ocho millones de automóviles, sin embargo los mencionados en dicha ilustración sólo son aquéllos que efectivamente usan biocombustible.

Ilustración 31 Vehículos que funcionan con Biocombustible en Circulación en EUA



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

4.2.2.1 Primera generación

El desarrollo de los biocombustibles de primera generación se da en el contexto de una seria escasez de petróleo en el mundo luego del embargo árabe de 1979. En un primer intento, en los EE.UU el etanol no se produce de las plantas sino del carbón. Esto sucede así dadas las grandes reservas de carbón de dicha nación.

La principal preocupación de aquel país entonces era reducir la enorme dependencia al petróleo de medio oriente, para lo cual se siguieron una serie de medidas, algunas como políticas expresadas explícitamente y algunas otras como respuestas naturales al incremento en los precios.

En las primeras encontramos la conformación de la IEA (International Energy Agency) como contraparte de la OPEP; el impulso a políticas de eficiencia en todos los sectores dependientes del petróleo y por supuesto el desarrollo de combustibles alternativos.

Sin embargo, el uso de alcohol como combustible es mucho más antiguo, pues desde el modelo T de Ford se utilizaba una mezcla de etanol con gasolina, misma mezcla que después fue abandonada.

La característica de este tipo de biocombustibles es que se genera alcohol por diferentes métodos, ya sea por fermentación de aquellas plantas ricas en azúcares y carbohidratos como la caña y el maíz o por medio de la transesterificación para aquellas plantas como la palma que poseen muchos aceites.

Siendo desarrollados en una época y en un lugar en donde el principal problema era la búsqueda de una soberanía energética, los biocombustibles de primera generación resuelven al menos parcialmente este problema; sin embargo, conforme la región y, en general, el mundo se enfrentaba a nuevos retos, pronto se puede apreciar las limitaciones de los mismos.

“Los biocarburantes pueden tener efectos aún más devastadores en el resto del mundo, especialmente en los precios de los alimentos básicos. Si los precios del petróleo permanecen altos, lo cual es muy probable, las personas más vulnerables a las alzas de los precios provocada por el auge de los biocombustibles serán las de los países que tanto sufren déficit de alimentos y el petróleo de importación”¹²¹

Además como lo menciona Bruce A. Babcock “los gases de efecto invernadero de talar nuevas tierras, pueden reducir dramáticamente lo que puede conseguirse con el uso de biocombustible”¹²², es decir, ni siquiera es seguro que su amplia utilización tenga efectos positivos en la disminución de la cantidad de contaminantes que se arrojan al ambiente, ya que como lo observamos en la tabla 6, la cantidad de emisiones del biocombustible es sólo ligeramente menor que la de la gasolina regular.

¹²¹ C. Ford Runge and Benjamin Senauer, “How Biofuels Could Starve the Poor”, *Foreign Affairs*, May/June 2007 pp. 45-59

¹²² Bruce A. Babcock, “Breaking the Link between Food and Biofuels”, *Briefing Paper 08-BP 53* July 2008, Center for Agricultural and Rural Development, IOWA State Uni

4.2.2.2 Segunda generación

El desarrollo de los biocombustibles de primera generación parecía resolver ciertos problemas, especialmente aquéllos relacionados con la constricción de la oferta y aún éstos de forma muy parcial, ya que requieren de un abundante subsidio para ser competitivas con las gasolinas y combustibles tradicionales.

Además presenta aún serias limitaciones como ya se mencionó en el apartado anterior, especialmente en lo referente a cuestiones ambientales y sociales.

Estas limitantes llevaron a varios grupos de trabajo en diferentes partes del mundo¹²³ a plantearse la necesidad de sustituir las cosechas específicas para producir etanol por materia orgánica de desecho como podrían ser cortezas de árbol, cáscaras y hojas resultantes de grandes sembradíos, arbustos y plantas no comestibles de alguna región en particular.

Existen otros desarrollos tecnológicos, la mayoría de los cuales se encuentran todavía dentro del laboratorio como por ejemplo el desarrollo del etanol con algas, pastos y la creación de biocombustible a partir de la modificación genética de bacterias, no obstante su viabilidad es todavía más lejana.¹²⁴

Acerca de su precio comercial, no está disponible aún, pues en la mayoría de los casos la producción es de pre-producción; sin embargo de acuerdo a la AIE, su costo de elaboración es hasta un 50% mayor que los de primera generación.

4.2.3 Autos Eléctricos

El transporte eléctrico se desarrolló de manera paralela a la tecnología que revolucionó el mundo, el motor de combustión interna. De hecho, en un principio compitió directamente con los automóviles y camiones de combustión interna tal y como lo menciona Daniel Sperling¹²⁵ “las tecnologías de propulsión eléctrica son conocidas desde el comienzo de la historia del vehículo de motor. En efecto, la misma señora Ford conducía un coche eléctrico”.

Al inicio se le consideró más limpio y menos ruidoso que el auto de combustión interna, por lo que, contrario a su competidor movido a gasolina, el eléctrico fue un auto más destinado a las clases altas. El rápido avance del motor a combustión interna, sin embargo, frenó este impulso inicial y lo relegó.

Si bien su uso en transportes particulares personales ha sido prácticamente nulo, sí podemos hablar en cambio de un vigoroso uso de la electricidad hoy en día en gran parte de los sistemas de transporte metropolitanos de las grandes ciudades del mundo, en el

¹²³ El desarrollo de los biocombustibles de segunda generación se dio principalmente en Europa en el Instituto para la Política Ambiental Europea y Norteamérica en California en el CalTech, y posteriormente numerosas universidad incluyendo la UNAM empezaron a elaborar Etanol con distintas clases de plantas y desechos agroindustriales

¹²⁴ Álvarez Maciel, Carlos, *“Biocombustibles: Desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional”* en *Economía* núm. 361 (noviembre-diciembre 2009) pag. 65

¹²⁵ Sperling, Daniel, Gordon, Deborah, *“Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability”*, Oxford University press, 2009

sistema de trenes tradicionales europeos y en el de trenes de alta velocidad en Asia y Europa.

Pese a ser una tecnología probada en transportes de gran tamaño y de la cual se han producido y siguen produciendo ejemplares de producción en serie, presenta serios inconvenientes que han limitado y obstaculizado su uso en escala masiva dentro de la sustitución de transporte urbano personal, como automóviles y motocicletas. Basta mencionar que en la actualidad (2010) hay pocos autos eléctricos en el parque vehicular de la región de Norteamérica, menos de 60,000 contando a autobuses y motocicletas de reparto.

Tabla 7 Comparación de los derivados del petróleo versus Electricidad

	Radio de partículas de Carbono/Hidrogeno	Energía neta MegaJouls por litro	Energía neta MegaJouls por Kilogramo	Emisiones directas gramos de CO2 por MegaJoul	Densidad del combustible Gramos por litro
Combustible Transporte					
Diesel	0.55	35.5	42.5	74.8	835
Gasolina	0.54	32.2	43.5	73	740
Electricidad		0.6	0.3-0.5	0	

Fuente: Elaboración propia con datos de Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009

Los problemas que impiden convertir a la electricidad en la fuerza motriz de los diferentes medios de transporte son los siguientes:

- El incremento en la producción de electricidad necesaria para movilizar a una flotilla de camiones, autos y trenes en un futuro próximo requiere ser producida por fuentes “renovables” ya que de producirse de forma tradicional, la ganancia en emisiones de efecto invernadero sería nula o incluso negativa.

La generación de la electricidad necesaria para poner en marcha una cantidad de vehículos similar a la flota vehicular actual representa en sí misma uno de los principales problemas que enfrenta el auto eléctrico, ya que si se sigue produciendo electricidad en la forma tradicional para abastecer a la flotilla de autos eléctricos, no existe ninguna ventaja en términos de gases contaminantes según lo afirman varios¹²⁶ autores. De producir la electricidad con plantas termoeléctricas de carbón, incluso sería mejor mantener el transporte funcionando con petróleo, ya que en 1990 la producción de electricidad a nivel global generada por medios renovables era de alrededor de un 20.1%, en tanto que para la región era de un 18.9%¹²⁷, es decir, se producía en proporción una cantidad menor que el promedio mundial. La situación actual no sólo no ha mejorado pese a los múltiples esfuerzos por parte de gobiernos y empresas, pues de hecho disminuyó el porcentaje,

¹²⁶ Fulton Lew, Reducing Oil Consumption in Transport: Combining Three Approaches, *IEA/EET Working Paper*, abril 2004.

¹²⁷ Ambas cifras corresponden al año de 1990, obtenidas de la EIA

tanto a nivel global como en la región, pasando en el 2008 a 18.4% la producción de energía renovable a nivel global y 15.8% la de la región.

Es decir, el crecimiento en la oferta de electricidad se ha dado en el sector no renovable, lo que nos vuelve a poner en presencia de un problema ya que de darse la transición no tendría ningún efecto positivo en la emisión de CO₂.

En las siguientes tablas podemos observar cómo ha cambiado la distribución en la producción de energía en el sector renovable, en la región, en cada uno de sus países miembros y el total mundial en 1990 y 2007, es decir, en 17 años.

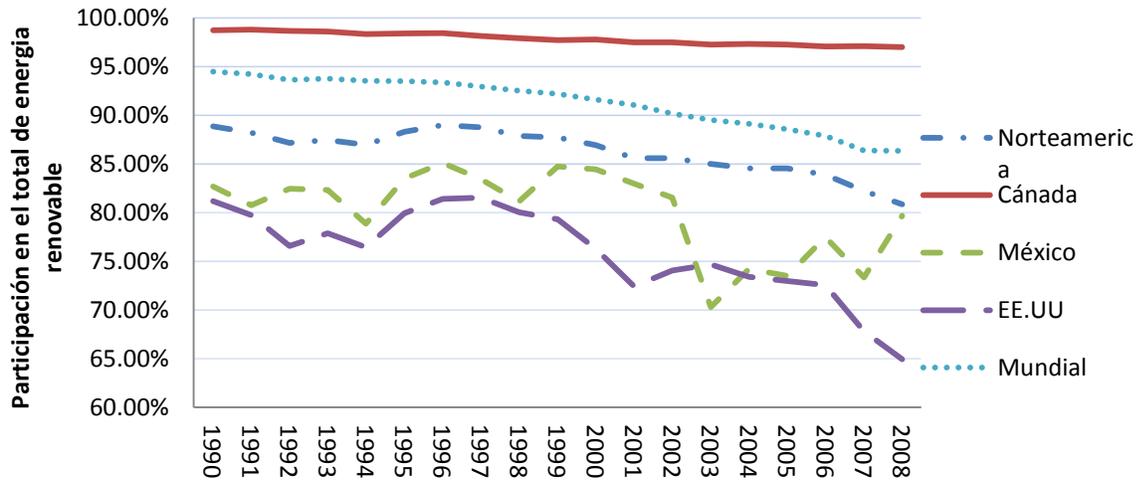
Tabla 8 Renovables por país y por tipo de producción en 1990 y en 2007

1990							
Renovables por país y por tipo de producción (miles de millones Kilowatt/hora)							
	Hidroeléctrica	Geotermal	Eólica	Solar y Oceánica	Biomasa y desperdicio	Total de energía Renovable no hidráulica	Total Renovables
Norte América	609.968	20.302	2.791	0.394	53.169	76.655	686.623
Canadá	293.859	0	0.002	0.026	3.771	3.799	297.658
México	23.243	4.868	0	0.001	0	4.869	28.112
EE.UU	292.866	15.434	2.789	0.367	49.398	67.988	360.854
Mundial	2144.497	34.855	3.496	0.969	86.49	125.81	2270.307

2007							
Renovables por país y por tipo de producción (miles de millones Kilowatt/hora)							
	Hidroeléctrica	Geotermal	Eólica	Solar y Oceánica	Biomasa y desperdicio	Total de energía Renovable no hidráulica	Total Renovables
Norte América	639.236	21.671	37.572	0.675	78.325	138.243	777.479
Canadá	364.723	0	2.873	0.054	8.032	10.959	375.682
México	27.003	7.034	0.249	0.009	2.523	9.815	36.818
EE.UU	247.51	14.637	34.45	0.612	67.77	117.469	364.979
Mundial	2998.856	57.397	164.408	5.036	247.006	473.847	3472.703

Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

Ilustración 32 Proporción de energías renovables generadas por fuentes hidráulicas



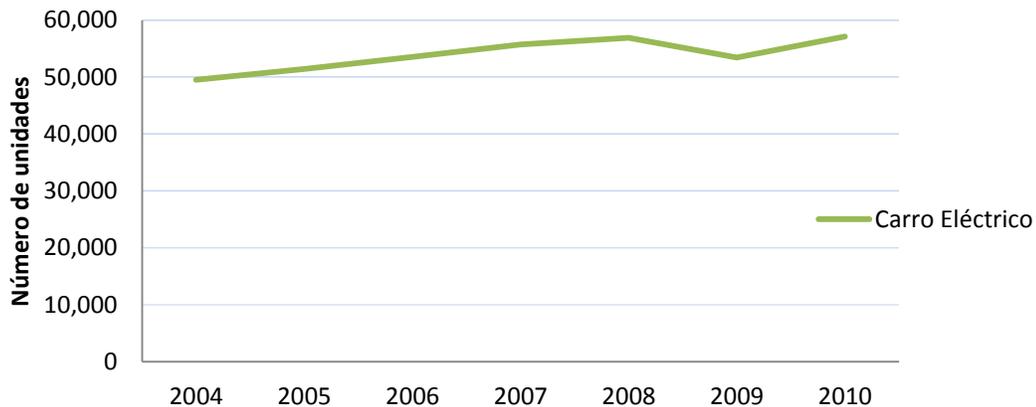
Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

- Los automóviles eléctricos poseen un menor rango de autonomía, menor velocidad y requieren de mayor tiempo para recargar sus baterías.

Ante tal perspectiva basta mostrar que si los autos eléctricos no cumplen con dichos criterios, su amplia utilización aun está en juego.

Estos obstáculos impiden que se le considere como una solución efectiva ante los múltiples retos que se presentan en la actualidad, ya que si bien soluciona la dependencia de petróleo en Norteamérica a corto plazo y la mundial en el largo plazo, no logra resolver los efectos nocivos ambientales que la producción de electricidad genera.

Ilustración 33 Vehículos Eléctricos en Circulación en EUA



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

4.2.4 Autos de Hidrógeno

El hidrógeno es visto por algunos científicos como el combustible del futuro desde hace bastante tiempo¹²⁸, aunque es necesario aclarar que no es en si un combustible, sino más bien una forma simple en la que se puede almacenar energía, el término técnico es el de “contenedor de energía”.

Tabla 9 Comparación de los derivados del petróleo versus el combustible de Hidrógeno

	C/H Radio	energía neta MJ/L	energía neta MJ/kg	emisiones directas CO2 gCO2/MJ	Densidad del combustible g/L
Combustible Transporte					
Diesel	0.55	35.5	42.5	74.8	835
Gasolina	0.54	32.2	43.5	73	740
Hidrógeno					
CH	0	2.8	120	0	23
LH	0	8.5	120	0	70.8

Fuente: Elaboración propia con datos de Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009

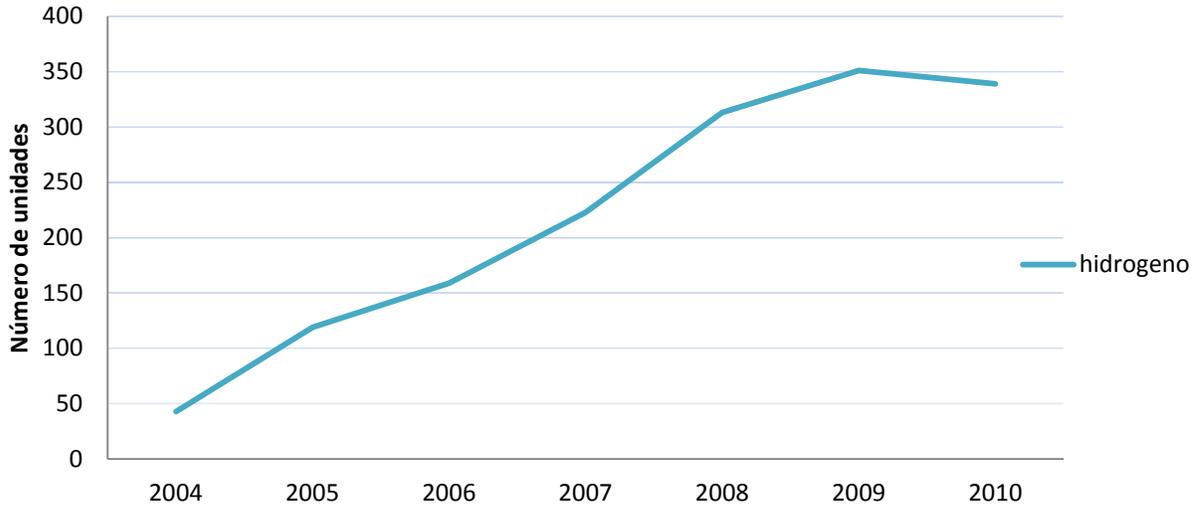
Hace casi un siglo, el hidrógeno era ya vislumbrado por algunos como el futuro de la energía. Varios científicos experimentaron con él, como William Robert Groves, en Inglaterra, quien diseñó la batería a gas y James Dewar quien obtuvo por primera vez el hidrógeno sólido, así como toda una serie de investigadores cuyos nombres el tiempo ha desvanecido pero que fueron también fundamentales en el lento proceso de insertar la idea en el colectivo imaginario y en las esferas gubernamentales.

No obstante, su viabilidad actual es prácticamente nula y su uso en escala masiva se encuentra más cercano a la ciencia ficción que a la realidad. Algunas muestras de estas limitantes las podemos observar en el número de vehículos que actualmente existen en el parque vehicular de los EE.UU que funcionan con hidrógeno: apenas superan las 300 unidades, además podemos observar que en 2010 tienen un ligero descenso, ocasionado probablemente por una caída en los presupuestos de investigación y desarrollo después de la crisis de 2008-2009¹²⁹.

¹²⁸ GENE D. BERRY, ALAN D. PASTERNAK, GLENN D. RAMBACH, J. RAY SMITH, and ROBERT N. SCHOCKS, *Hydrogen As A Future Transportation Fuel*, Energy Vol. 2 I, No. 4, pp. 293. 1996

¹²⁹ *The Economist*, “The future of the energy”, 3 Agosto de 2009, El artículo menciona brevemente los efectos que tendrá la crisis y pronostica una caída en Gastos de I+D.

Ilustración 34 Vehículos en Circulación en EUA



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA

Pese a ser uno de los combustibles más abundantes en la tierra, sigue siendo también uno de los combustibles alternativos que menor desarrollo ha mostrado en los últimos tiempos, no obstante que ya se buscaba como utilizarlo desde principios del siglo XX.

El uso del hidrógeno en el transporte puede presentarse de tres maneras un tanto diferentes:

- Como un motor de combustión interna

La primera opción que se nos presenta es la de utilizar el hidrógeno en un motor de combustión interna especial para éste. Sus principales atributos son la completa sustitución del petróleo, sin embargo requiere de un amplio espacio para ser funcional, pues de acuerdo a Gene D. Berry, necesita el espacio aproximado al de un tanque de 719 litros, mismo que no existe actualmente en ningún automóvil.

- Celdas de combustible eléctricas

La segunda opción que se ha manejado es la utilización de una celda de combustible, la cual es altamente eficiente en la conversión de energía química en energía mecánica.

Siendo originalmente diseñadas para el programa espacial norteamericano y la milicia, este tipo de tecnología ¹³⁰ ha probado tener numerosas ventajas en cuanto a eficiencia, peso y rango de independencia sin recarga, no obstante presenta una limitante crucial para su venta en el mercado general, su alto costo de producción y por ende su alto precio al mercado.

- Como Vehículos híbridos-eléctricos

La inspiración para el desarrollo de este tipo de modelos proviene de buscar obtener las ventajas de los dos modelos, el alto rendimiento y eficiencia de la celda de

¹³⁰ GENE D. BERRY, ALAN D. PASTERNAK, GLENN D. RAMBACH, J. RAY SMITH, and ROBERT N. SCHOCKS, *Hydrogen As A Future Transportation Fuel*, Energy Vol. 2 I, No. 4, pp. 293. 1996

combustible con el costo y la familiaridad del motor de combustión interna a base de hidrógeno.

No obstante los intentos que actualmente se realizan, la mayoría de los modelos son financiados con recursos de investigación federales¹³¹, con una participación muy limitada de las armadoras de automóviles privadas, ya que por ejemplo, por cada dólar invertido en investigación y desarrollo por el gobierno de los EE.UU, las armadoras apenas invierten 15 centavos, esto en el año 2009¹³². Quedan las fuertes limitantes impuestas por la producción, distribución y almacenamiento del mismo, ya que la estructura aún se encuentra en un estado inicial de desarrollo.

4.3 Conclusiones preliminares

Los combustibles que en la actualidad se encuentran como candidatos a sustituir el petróleo, están en un estado muy precario de desarrollo y de penetración en el mercado. Analizando cuidadosamente las características de las diferentes opciones para sustituir al petróleo, todas presentan desventajas o ventajas mínimas en lo referente a la cantidad de emisiones de CO₂, a la distribución geográfica de las reservas, dado que como se mencionó en el capítulo 3, una de las razones por las que se busca sustituir al petróleo es para disminuir los gases de efecto invernadero y disminuir la capacidad monopólica del mercado del petróleo. Si ninguna de estas opciones soluciona dichos problemas, entonces es difícil asumir la transición energética con alguno de estos combustibles. Como lo muestra este capítulo, lo más probable es que la decisión sea tomada con base en el costo de la infraestructura necesaria para su uso generalizado.

¹³¹ Wirth, Timothy E., Grey Boyden y Podesta John *The future of energy policy* Foreign Affairs Julio-Agosto 2003

¹³² S/autor, "Transport for a Global Economy: Challenges & Opportunities in the Downturn", OCDE, Paris, 2009. 200 p.

5 Propuestas

Ninguna solución a los problemas que ahora enfrentamos con respecto al cambio climático, a la dependencia excesiva del petróleo y a los problemas ambientales generados localmente, es fácil, rápida o barata.

El primer paso es que gobierno, sociedad e iniciativa privada estén conscientes del enorme costo que representará este cambio. Algunas estimaciones hablan del 1% del PIB mundial por año, en un periodo de 10 a 15 años¹³³, pero es probable que esta cifra esté muy por debajo del costo real, ya que no se consideran los costos de investigación, ni los efectos colaterales de una transición energética, como son el incremento en el precio de los alimentos en el caso del uso del biocombustible y el costo social (desempleo, incomodidad de los usuarios) entre otros¹³⁴.

En todo caso, las líneas de acción se pueden colocar en dos grandes bloques:

5.1 Eficiencia

El incremento en la eficiencia de los automotores es un paso que se ha venido dando en toda la industria, por lo menos desde 1981, cuando automotores clásicos como el Mustang de Ford¹³⁵, reduce su tamaño y el de su motor, o el Camaro de Chevrolet, que en la misma época utiliza fuel inyección, dinámicas mejoradas y por lo menos 220 kilos más ligeros que versiones anteriores.

Si bien se da una reducción en el combustible consumido de alrededor de un 20 a 25%¹³⁶ al utilizar vehículos más ligeros y con motores más eficientes, difícilmente esto significa una reducción en el uso del combustible; por el contrario, el ahorro en el energético generalmente se traduce, de acuerdo a Daniel Sperling, en un mayor uso del automóvil, en una mayor velocidad, es decir, conductas de manejo menos eficientes y por lo tanto, en un mayor consumo, por lo que el efecto real de un incremento en la eficiencia es mucho menor, probablemente y de acuerdo a estimaciones del propio Sperling, sea sólo de 3 a 5%, por lo que no debemos considerar esta línea de acción como una salida.

5.2 Sustitución acelerada

La sustitución acelerada del petróleo es otra de las propuestas que se ha manejado como posibilidad. Básicamente consiste en invertir y subsidiar un combustible alterno, tal y

¹³³ **Stern Review on the Economics of Climate Change**

¹³⁴ Bruce A. Babcock; "Breaking the link between food and biofuels", en *Briefing Paper 08-BP 53* July 2008, Center for Agricultural and Rural Development, IOWA State Uni. 11p

¹³⁵ *Idem* p 3

¹³⁶ Comp Harrison; Roy M y Hester Ronald E., *Transport and the Environment*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2004, 176 p.

como sucedió en Nueva Zelanda. Sin embargo, este esfuerzo debe ser sostenido por un periodo largo de tiempo, ya que por ejemplo, en el caso de Nueva Zelanda, el tiempo durante el cual se aplicó el programa de sustitución (8 años), no logró consolidar ni crear la estructura suficiente para que la producción y uso de este combustible pudiera llevarse a cabo sin subsidios.

6 Conclusiones Generales

El tema central de este trabajo ha sido examinar y comprobar los siguientes aspectos: las limitantes de una transición energética en la economía y especialmente en el sector transporte, las condiciones actuales que presenta Norteamérica en lo relativo al sector transporte y como es que las tecnologías actuales que resultan más ecológicas no se encuentran suficientemente desarrolladas o bien aquéllas que tienen una mayor posibilidad para reemplazar al parque vehicular no ofrecen ninguna ventaja suficientemente grande sobre los automóviles tradicionales de gasolina.

Estas son algunas de las conclusiones que han surgido, mismas que puntualizaremos en este apartado con el fin de señalar los aspectos que consideramos, son los más importantes y de mayor transcendencia:

La energía se interrelaciona con la economía en múltiples formas, a veces como un insumo, a veces como un factor de la producción y otras tantas como un catalizador de la civilización. Negar su íntima relación con la sociedad es imposible, por esto, podemos afirmar sin lugar a dudas, que el consumo de energía y su uso eficiente son determinantes en el crecimiento económico, en el nivel de vida de la población y finalmente, en la distancia que puede viajar y moverse dicha sociedad, lo que en términos abstractos significa mayores redes comerciales y un menor costo de búsqueda y transporte.

Se afirma también que la energía es un factor de la producción, mas no se debe considerar que los combustibles tienen esta única función; por el contrario, si bien una parte de la energía entra de esta forma, otra necesariamente entra como materia prima, por lo que es importante tener bien claro las dos formas en que los energéticos entran al sistema.

Esta dualidad en su función proviene de la capacidad de la energía de agregar valor cuando se usa por ejemplo para alimentar la fuerza de la maquinaria o mover un tractor, puesto que reemplaza trabajo humano con trabajo mecánico, pero no obstante cuando por ejemplo el petróleo se usa como materia prima para fabricar plásticos, entonces es cuando su otro rol entra en funciones.

Las transiciones energéticas son conceptos nodales en nuestro estudio, y hemos observado su desarrollo, pudiendo con esto encuadrarlas en varios momentos o periodos; el primero, desde la antigüedad a la revolución industrial iniciada en Inglaterra, dominado por la leña y recursos energéticos como la fuerza animal y de los elementos; el segundo, que inicia con la revolución industrial y termina con la expansión masiva del petróleo para el consumo de autos particulares y en donde el elemento dominante es el carbón. Finalmente, el tercer periodo es aquél que inicia con la introducción masiva del automóvil hasta la actualidad, en donde el debate es precisamente el de forzar el cambio tecnológico.

Estos ciclos son, en palabras de Vaclav Smil, “un proceso inherentemente lento”, en parte, por no ser generado por la esfera económica, sino por un proceso de agotamiento de las estructuras energéticas actuales y en parte, por requerir de cambios

institucionales y tecnológicos, ya que sin estas transformaciones las transiciones energética no pueden desarrollar todo su potencial.

En lo referente al petróleo, Norteamérica depende de él para una gran mayoría de sus actividades: Canadá, para mantener su flota de automóviles particulares y por su importante sector energético; EUA, por su importancia estratégica y geopolítica y México, por ser uno de los pilares que sostienen el financiamiento del sector gubernamental y de entrada de divisas del país, por lo que el estudio de esta zona es crucial para entender como países tan ligados al petróleo están buscando impulsar una transición energética.

Los tres países de la región tienen serias disparidades en su ingreso, estructura, cultura, población e incentivos para buscar una alternativa al petróleo, sin embargo, todos los países comparten un sector transporte que depende más del petróleo que ningún otro sector o industria, casi el 95% de todos los medios de transporte requieren petróleo o sus derivados para su funcionamiento.

El desarrollo tecnológico del sector no es regional, aunque es cierto que existen tendencias locales y regionales, la globalización permite que la difusión de tecnología sea mucho más rápida y amplia que anteriormente.

A este respecto, cuatro tecnologías han sido las que parecieran más prometedoras en la actualidad para sustituir al petróleo en el mediano y largo plazo. En primer lugar, los biocombustibles, cuya mayor ventaja es la fácil reconversión de los vehículos ya existentes, sus limitantes se encuentran en los postulados morales y éticos del incremento de precios en los alimentos a causa del desvío de recursos a la producción de combustibles. Un segundo plano ocupan los autos eléctricos, los cuales son altamente eficientes e ideales para el ambiente urbano, sin embargo existen consideraciones acerca de su eficacia para combatir la producción de gases de efecto invernadero y el costo de construir una red eléctrica paralela para la producción de energía destinada al transporte. El tercer posible sustituto es el uso del hidrogeno, prácticamente no contamina, no obstante requiere una amplia infraestructura para que sea viable, infraestructura que no existe y que no pareciera comenzar a desarrollarse, y finalmente el gas natural el cual representa una opción ligeramente más limpia que la gasolina en lo referente a la emisión de gases CO₂, pero que no obstante presenta los mismos problemas de concentración de reservas que el petróleo.

Es importante mencionar que en ninguna parte de este trabajo se habla de los precios como una variable importante para una transición energética y no porque no lo sea, sino porque no está siendo una variable determinante para el cambio. Hay dos razones principales para ello: en primera instancia, el hecho de que por ejemplo, los precios del petróleo tienen un sobreprecio en impuestos (40% en EUA, 56% Canadá, 30% en México), supuestamente aplicado como medida para corregir las externalidades generadas por su uso, por lo que ante una subida de precios, el gobierno simplemente disminuye el impuesto y mantiene el precio constante o por lo menos, lo hace en menor medida que el incremento real, buscando mantener así un control sobre la inflación, y en segundo lugar, el precio de los biocombustibles los hace atractivos sólo en los casos en

que se encuentren subsidiados o bien en donde el consumidor se encuentra en la misma área de producción(en la misma ciudad).

El futuro del transporte sigue, sin lugar a dudas, en manos del petróleo, al menos en el corto y mediano plazo. La mejor opción para reducir los efectos nocivos que éste produce se limitan, en todo caso, a utilizar múltiples combustibles alternativos, pues ninguno de ellos representa una solución definitiva a todos los problemas: cada combustible “renovable” presenta riesgos y oportunidades de desarrollo, mismas que son explotadas en forma diferente por cada país de acuerdo a sus necesidades y disponibilidad de recursos.

Es decir que en la última década, los esfuerzos, si es que los ha habido, han sido poco efectivos para la transformación del sector. La inversión en desarrollo e infraestructura ha estado más enfocada a las innovaciones incrementales o paralelas, que a las innovaciones revolucionarias, es decir, falta que muchas de las nuevas tecnologías pasen por las armadoras, por el mercado y que su uso se amplíe, es decir, faltan varios años todavía para observar este proceso.

7 Bibliografía

1. Amouroux Jean Marie Martin, “¿Llegó a su término la edad de oro de las energías fósiles?”, en *Economía Informa*, núm. 340, mayo-junio, 2006, pp. 56-61.
2. Álvarez Béjar; Nora Lina Montes, “El petróleo ¿para el desarrollo de México o para la explotación depredadora”. en *Macroeconomía*, México, pp. 10-12.
3. Álvarez Maciel Carlos, “Biocombustibles: Desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional”, en *Economía*, núm. 361, noviembre-diciembre 2009, pp. 63-89.
4. Aroche Fidel, “Regímenes de crecimiento, cambio estructural y coeficientes de insumo”, México, *El Trimestre Económico*, vol. LXXIII (4), 2006, pp. 881-992.
5. Avella Alaminos Isabel, “Antes del TLCAN: la historia de los acuerdos comerciales entre México y los Estados Unidos”, en *Revista Digital Universitaria*, 10 de mayo de 2008, volumen 9, número 5.
6. Bazán Perkins Sergio D.; Fernández Zayas José L., “Evaluation of México’s 1975–2000 energy plan”, *Energy Economics* 30, 2008, pp. 2569–2586.
7. Bergh Van; C.J.M. Jeroen; Oosterhuis Frans, *An Evolutionary Economic Analysis of Energy Transitions*, Amsterdam, June 2005, Paper in Edition, 24 p.
8. Berry Gene D.; Pasternak Alan D.; Rambach Glenn D.; Smith J. Ray; Schocks Robert N., “Hydrogen as a future transportation fuel”, en *Energy*, Vol. 21, No. 4, 1996, pp. 289-303.
9. Best y Brown Roberto; Dorantes Rodríguez Rubén; Estrada Gasca Claudio, “Las fuentes renovables de energía en México: obstáculos y perspectivas”, en Calva J.L. (coord.), *Política energética, Colección Agenda para el desarrollo*, tomo 8, D.F., Coedición UNAM, Miguel Ángel Porrúa y LX Legislatura de la Cámara de Diputados, México, 2007, pp. 301-319.
10. Bruce A. Babcock; “Breaking the link between food and biofuels”, en *Briefing Paper 08-BP 53* July 2008, Center for Agricultural and Rural Development, IOWA State Uni. 11p.
11. Cameron Ken; Schnusenberg Oliver, “Oil prices, SUVs, and Iraq: An investigation of automobile manufacturer oil price sensitivity”, en *Energy Economics* 31, 2009, pp. 375–438.
12. Chow Jeffrey; Kopp Raymond; Portney Paul, “Energy Resources and Global Development Science”, en *American Association for the Advancement of Science*, New Series, Vol. 302, No. 5650, Nov. 28 2003, pp. 1528-1531.
13. CIA World Fact.

14. Cipolla Carlo M, "*Historia económica de la población mundial*", Madrid, Editorial Critica, 2001, 320 p.
15. Clyde Hufbauer Gary; J. Schott Jeffrey, *NAFTA Revisited: Achievements and Challenges*, Washington, Ed. Institute for International Economics, 2005, 544 p.
16. Comp Harrison; Roy M y Hester Ronald E., *Transport and the Environment*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2004, 176 p.
17. Cutler J. Cleveland, *Encyclopedia of Energy*, Boston, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2004.
18. De la Vega Navarro Ángel, "¿Avanzar en el siglo XXI con la energía del siglo XIX? Las nuevas perspectivas mundiales del carbón", en *Economía Informa*, México, UNAM, No. 354 (Septiembre-Octubre 2008).
19. De la Vega Navarro Ángel, "La transición energética y México como exportador de petróleo. Nuevas Dimensiones del análisis y de las políticas energéticas", en Calva J.L. (coord.), *Política energética, Colección Agenda para el desarrollo*, tomo 8, D.F., Coedición UNAM, Miguel Ángel Porrúa y LX Legislatura de la Cámara de Diputados, 2007, pp. 345-359.
20. De la Vega Navarro Ángel, "Canadá y México: seguridad energética como disyuntiva", *Energía a Debate*, año 3, tomo III, no. 28, México, diciembre 2006.
21. De Rus Gines; Campos Javier; Nombela Gustavo, *Economía del transporte*, Barcelona, Ed. Antoni Bosch, 2000, 447 p.
22. Dieter Ernst, "Redes globales de producción, difusión de conocimiento y formación de capacidades locales. Un marco conceptual", en Dussel E.; Palacios J.; Woo G. (coordinadores), *La Industria electrónica en México*, México, Universidad de Guadalajara, 2003. pp. 102–130.
23. Dirección URL: www.onlineconversion.com (Consulta 16 de Noviembre de 2009).
24. Dirección URL: <http://www.farmworkers.org/pbracero.html>, (Consulta 15 marzo 2009).
25. Dirección URL: <http://home.cc.umanitoba.ca/~vsmil/>, (Consulta 25 de octubre de 2009).
26. Dirección URL: <http://www.canadianecology.ca/>, (Consulta 10 de enero de 2010).
27. Dirección URL: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/index.php?opcion=20>, (Consulta 12 de enero de 2010).

28. Droege Peter, *Urban Energy Transition: from Fossil fuel to renewable power*, University of Newcastle, 664 p.
29. *Energy Policies of IEA Countries: USA: 2007*, IEA, (Energy Information Administration), 2007. 178p.
30. *Energy Policies of IEA Countries: Canada 2004*, IEA, (Energy Information Administration), 556 p.
31. *Energy Balances of OECD Countries, 2001-2002*, IEA, (Energy Information Administration), 543 p.
32. *Energy Balances Of OECD Countries, 2003-2004*, IEA, IEA, (Energy Information Administration). 564 p.
33. Eugene Rosa; Machilis Gary; Kenneth M. Keating, *Energy and Society*, Washington, Annual Review of Sociology, 1988, pp. 149-172.
34. *Finance & Development / June 1997 volume 34, Number 2*
35. Forster P.; Ramaswamy P. Artaxo; T. Berntsen; R. Betts; D.W. Fahey; J. Haywood; J. Lean; D.C. Lowe; G. Myhre; J. Nganga; R. Prinn; G. Raga; M. Schulz; R. Van Dorland, *2007: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. in: climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Pp. 199-209.
36. Friedman Milton, *El auge de los 90s se desinfló*, 1 de Febrero de 2000, Cato Institute.
37. *From 1st- to 2nd-Generation Biofuel Technologies: An overview of current industry and RD&D activities*, IEA, (Energy Information Administration), December 2008. 106 p.
38. Fulton Lew, *Reducing Oil Consumption in Transport: Combining Three Approaches*, *IEA/EET Working Paper*, abril 2004.
39. Fuss Melvyn; Waverman Leonard, *The Canada-U.S. Auto Pact Of 1965: An Experiment In Selective Trade Liberalization*, Working Paper No. 1953, National Bureau Of Economic Research, 55 p.
40. Georgescu Roegen Nicholas, *The Steady State and Ecological Salvation: A. Thermodynamic Analysis*, *BioScience*, 1977, Vol. 27, Num. 4.
41. Georgescu Roegen Nicholas, *The Entropy Law and the Economic Process*, Massachusetts, Harvard University Press: Cambridge, 1971, 479 p.

42. Grübler Arnulf, *Energy, the next fifty years* Chapter 3: Global energy perspectives: 2050 and beyond, IEA, (Energy Information Administration), 2007. pp. 41-62.
43. Government of Canada, NAFTA: Overview and Description, NAFTA Overview; NAFTA Description, 1992. pp. 42-112.
44. Hotelling H., *The Economics of Exhaustible Resources*, J. Polit. Econ., Vol. 39, 1931, pp. 137-175.
45. Huntington Samuel, *The clash of civilizations and the remaking of world order*, New York, 1996, 368 p.
46. Ilmakunnas P., Energy Crises and Change of Technology, *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 9, No. 3, Jul. - Sep., 1994, pp. 305-320.
47. Jacobson Mark Z.; Delucchi Mark A. "A Path to sustainable, energy by 2030", en *Scientific American*, Noviembre 2009.
48. Jacobson, "Connective Power: Solar Electrification and Social Change in Kenya", en *World Development*, V. 35, n1, 2007, pp. 144-162.
49. Jevons William Stanley; *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, London: Mac-millan and Co, 1966.
50. Kander Astrid; Malanima Paolo; Warde Paul, *Energy transitions in Europe: 1600-2000*, ed. CIRCLE, Electronic Working Paper Series 2008/12, 29 p.
51. Katzer James R., "Interface Challenges and Opportunities in Energy and Transportation", en *Energy and Transportation: Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century*, Organizing Committee for the Workshop on Energy and Transportation, Committee on Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century, National, pp. 23-32.
52. Kemp Roger, "Transport energy consumption", en *Power engineer*, Octubre 2004, 7 p.
53. Kenworthy Jr., "Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities", presented to the international Third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, Notre Dame University, Fremantle, Western Australia, September 17-19, 2003, 28 p.
54. King Hubbert, *Nuclear energy and the fossil fuels*, San Antonio, Shell Development Company, Drilling and Production Practice American Petroleum Institute, 1956, 57 p.
55. King Hubbert M., "Los recursos naturales de la tierra", en *Scientific American Society*, New York, 1971. pp. 64-91.

56. Kwon Eunkyung; Leather James A., Urban Transport Energy Efficiency, Asian Development Bank (ADB), Diciembre 2006, Nota Técnica.
57. Kondrátiev Nikolái D., “Los grandes ciclos de la vida económica”, en Gottfried Haberler (compilador), *Ensayos sobre el Ciclo Económico*, México, Fondo de Cultura Económica, 2ª ed. 1956, pp. 35-56.
58. Krepcio Kathy, “Green Jobs and their Role in our Economic Recovery”, en *Testimony before the House Committee on Education and Labor, Subcommittee on Workforce Protections*, 2009, 6 p.
59. Lave Lester, “The Economics of energy options”, California, en *MRS Bulletin*, volume 33, Abril 2008. 7 p.
60. Letcher Trevol, *Future energy*, Florida, Elsevier, 2007, 492 p.
61. Lina Montes Nora, “Financiamiento de sector energético en México. Alternativas a la situación actual de despilfarro”, en Calva J.L. (coord.), *Política energética, Colección Agenda para el desarrollo*, tomo 8, D.F., Coedición UNAM, Miguel Ángel Porrúa y LX Legislatura de la Cámara de Diputados, 2007, pp. 53-69.
62. Lin Xiannun; Polesnke Karen, *Input-output anatomy of China's energy's use in the 1980's*, Economic System Research, vol. 7, no 1, 1995. pp. 67-84
63. López Villafañe Víctor, “La dinámica de la integración económica de México Con Los EUA”, en *México frente a las grandes regiones del mundo*, México, Ed. Siglo XXI, 2000. pp.69-108.
64. Marcotullio Peter J.; Schulz Niels B., *Comparison between Energy Transitions in the USA and Developing and Industrializing Economies*, World Development, Vol. 35. N.10, pp. 1650-1683.
65. Martínez Peniche Iñigo Gabriel, “Transición hacia fuentes renovables de energía en América del Norte: ¿hacia una cooperación más equitativa en la región?”, en *Economía*, núm. 361, noviembre-diciembre 2009, pp. 11-33.
66. Masters D. C., "Reciprocity", en Wallace W. Stewart, *The Encyclopedia of Canada*, Toronto, Vol. V, University Associates of Canada, 1948, 401p.
67. Meadows Donella; Meadows Dennis, Randers, *Limits to growth: The 30-year update*, USA, 2004, 341 p.
68. Mendoza Bernardo; López Jorge, “México, plataforma para autos 33 verdes”, en *Línea*, México, El Universal, 25 de mayo de 2009, Dirección URL: <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/54032.html> [consulta 23 de febrero de 2010].
69. Mill John Stuart, *The Principles of Political Economy*, EconomicLib, 1967.

70. Moreira Rodríguez Héctor, *Entendiendo el TLC*, México, Centro de Estudios Estratégicos-Fondo de Cultura Económica, ITESM, 1995, 238 p.
71. Morris Donald E, *History and Economics Provide Better Renewable Energy Strategies*, en IEEE Green Technology Conference, Lubbock, TX, abril 17 2007. 5 p.
72. Mourougane Annabelle, *Achieving sustainability of the energy sector in Canada*, OCDE, Economics Department Working Paper No. 618, 27-Jun-2008, 40 p.
73. National Geography.
74. North American Transportation Statistics Database. Sistema.
75. Odum H. T., *Environmental Systems and Public Policy*, Ecological Economics Program, USA, University of Florida, Gainesville 32611, 1988, 132 p.
76. Olah George; Goeppert Alain; Prakash Surya, *Beyond Oil and Gas: the methanol economy*, California, Wiley VCH, 2006, 334 p.
77. OPEC, *World Oil Outlook 2007*, ED OPEEC, VIENNA 2008.
78. Pastor Robert A., *Toward a North American community: Lessons from the Old World for the New*, Washington, Institute for International Economics, 2001, 224 p.
79. Pastor, Robert, "The future of North America; replacing a bad neighbor policy", en *Foreign Affairs*, Vol 84. N.4.
80. Pearson Peter; Fouquet Roger, "A thousand years of energy use in the United Kingdom", en *The Energy Journal*, 1998, 19 de abril.
81. Peet John, *Energy and the ecological economics of sustainability*, USA, Island press, 1992, 327 p.
82. Pieterse W., "Geopolitics of Energy Transitions", en *Paper presented at the annual meeting of the ISA's 50th ANNUAL CONVENTION "EXPLORING THE PAST, ANTICIPATING THE FUTURE*, USA, New York Marriott Marquis, 2009.
83. Prieto Nivola, "Energy Independence or Interdependence? Integrating the North American Energy Market", *The brookings Review*, Spring 2002, Vol.20 No.2. pp. 24-27.
84. Puerta Rodríguez Hilda, *La Globalización y la Regionalización Económica: ¿Fenómenos Contradictorios O Complementarios? Sus Perspectivas*, Centro de Investigaciones de Economía Internacional, Universidad de la Habana, 2001, 27 p.
85. Rifkin Jeremy, *La economía del hidrógeno*, Barcelona, Paidós, 2002, 324 p.

86. Robinson David, *The Impact of Higher Oil Prices on the Global Economy*, Prepared by the IMF Research Department, December 8, 2000, 46 p.
87. Rodríguez A. Agustina, "El comercio de México y su relación con Canadá en el TLCAN", en *Revista México y la Cuenca del Pacífico*, Volumen 3, Núm. 10 Mayo – Agosto, 2000, pp. 78 /UdeG.
88. Roegen N. Georgescu, "*The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis*", en *BioScience*, 1977, No. 27, pp. 266–270.
89. Rojey Alexandre, Cap. 7 "Securing the supplies of fossil fuels", en *Energy and Climate-How to achieve a successful energy transition*, Ed Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd. pp.89-104.
90. S/A "Canadá, gran socio comercial", *El Economista*, 14 Julio, 2009, pp.6-8.
91. S/ autor, *Royal Dutch Shell PLC Annual Review and Summary Financial Statements 2008*, DELIVERY & GROWTH, 40 p.
92. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2009*, British Petroleum Company, Londres, June 2009, 48 p.
93. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2008*, British Petroleum Company, Brussels, June 2008, 37 p.
94. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2007*, British Petroleum Company, Londres, June 2007, 47 p.
95. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2006*, British Petroleum Company, Londres, June 2006, 48 p.
96. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2005*, British Petroleum Company, Londres, June 2005, 44 p.
97. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2004*, British Petroleum Company, Londres, June 2004, 44 p.
98. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2003*, British Petroleum Company, Londres, June 2003, 44 p.
99. S/ autor, *BP Statistical Review of World Energy 2002*, British Petroleum Company, Londres, June 2002, 44 p.
100. S/ autor, *Sostenibilidad de las dietas basadas en carne y dietas basadas en plantas y el medio ambiente* [en línea], Dirección URL: http://www.unizar.es/med_naturista/trabajos/articulo1.pdf [consulta: 10 de octubre de 2009].

101. S/ autor, *Biofuels For Transport: An International Perspective*”, EIA (Energy Information Administration), 2005. 215 p.
102. S/ autor, *Automotive Fuels for the Future*, (Energy Information Administration), Paris, 2000. 88 p.
103. S/ autor, *CO₂ emissions from fuelcombustion 2009 Edition*, (Energy Information Administration), Paris, 2009. 587 p.
104. S/ autor, *Coal information 2009 Edition*, (Energy Information Administration), Paris, 2009. 515 p.
105. S/ autor, *International Energy Outlook 2003*, EIA (Energy Information Administration), Washington, Office of Integrated Analysis and Forecasting, 2003. 256 p.
106. S/ autor, Overview of U.S. Legislation and Regulations Affecting Offshore Natural Gas and Oil Activity, EIA (Energy Information Administration), 20 p.
107. S/ autor, “A special report in the public interest energy”, en *National Geographic Society*, Washington, Febrero de 1981. 96 p.
108. GTEAM, *Perfil Energético de América del Norte (North America – The Energy Picture II)*.
109. S/ autor, *La Energía*, Scientific American Society.
110. Human Development Report 2007.
111. World Coal Institute, 2009.
112. S/autor, “Transport for a Global Economy: Challenges & Opportunities in the Downturn”, OCDE, Paris, 2009. 200 p.
113. S/autor, NAFTA: la manzana de la discordia, Dirección URL: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/business/newsid_7276000/7276132.stm [consulta 16 de noviembre de 2009].
114. S/ autor, “Sostenibilidad de las dietas basadas en carne y dietas basadas en plantas y el medio ambiente”, Dirección URL: http://www.unizar.es/med_naturista/Trabajos/articulo1.pdf, (Consulta, 4 de julio de 2009).
115. Saldaña Flores Ricardo; Miranda Miranda Ubaldo, *Estudio de los potenciales bioenergético, eólico, minihidráulico y solar en México*, Cuernavaca, Instituto de Investigaciones Eléctricas, marzo 2005, 33 p.
116. Sandoval Luis, *Los ciclos económicos largos Kondratiev*, Ponencia en las IX Jornadas de Economía Crítica.

117. Saxe Fernández John, *Aspectos estratégico-militares inmersos en el proyecto de integración de América del Norte*, Revista de Ciencias Sociales, No. 53, Universidad de Costa Rica, SEP, 1991, pp. 95-106.
118. Schafer Andreas; Heywood John B.; Jacoby Henry D.; Waitz Ian A., *Transportation in a Climate-Constrained World*, MIT Press, Massachusetts, 2009, 340 p.
119. SENER, *Perfil Energético de América del Norte II*, México, 2006, GTEAN, 99 p.
120. SENER: *Prospectiva de petrolíferos 2005-2014*, México, 2006. 126 p.
121. SENER, *Perfil Energético de América del Norte I*, México, 2002, GTEAN, 73 p.
122. Secretaría de Economía SE, México–Canada Trade Relations, comunicado de prensa 23 enero 2009.
123. Smil Vaclav, “Moore’s Curse and the Great Energy Delusion”, en *The American*, Wednesday, November 19, 2008. 6 p.
124. Smil V., *Oil: A Beginner's Guide*, Oneworld Publishers, Oxford, 2008, 202 p.
125. Smil V., *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*, MIT Press, Cambridge, MA, 2008, 480 p.
126. Smil V., “Energy in the 20th century: resources, conversions, costs, uses, and consequences”, en *Annual Review of Energy and the Environment*, 25:21-51, 2000, 31 p.
127. Smil V., *Energy in World History*, Westview Press, Boulder, CO, 1994, 300 p.
128. Slesser Malcom, *Energy in the economy*, London, Macmillan, 1985, 164 p.
129. Soddy Frederick, *Wealth Virtual Wealth and Debt*, George Allen, 1926, 208 p.
130. Soeren Kern, “Cómo la demanda de petróleo determina la política exterior estadounidense”, en Cuadernos de Energía, N° 13, Junio 2006.
131. Sperling Daniel; Gordon Deborah, *Two billion cars: driving toward sustainability*, New York, Oxford University Press, 2009, 304 p.
132. Stephen G. Powell; Shmuel S. Oren, *The Transition to Nondepletable Energy: Social Planning and Market Models of Capacity Expansion*, Ed. Operations Research, Vol. 37, No. 3 (May - Jun., 1989), pp. 373-383.
133. Stern Roger, “Oil Market Power and United States National Security”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 103, No. 5, 2006, pp. 1650-1655.
134. The Economist, “Gazprom, Russia's energetic enigma”, 6 de Octubre de 2005.

135. National Geographic, Energy, Febrero 1981.
136. *The Economist*, "The future of the energy", 3 Agosto de 2009.
137. *The Economist*, "Canadá, gran socio comercial", 14 de Julio de 2009.
138. El Universal, "SHCP y Congreso recortan recursos a Chicontepec", Jueves 19 de noviembre de 2009, Dirección URL: <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/75356.html>, (Consulta 24 de marzo de 2010).
139. "Cap and trade legislation would kill coal industry", Congressman Says, Thursday, 2 de abril de 2009.
140. "Ontario's Coal Phase-out Will Have Drastic Consequences", Say The Thinking Companies, Wednesday, 16 de febrero de 2005.
141. Trejo García Elma del Carmen, *Alianza para la Seguridad y la Prosperidad de América del Norte (ASPAN)*, Servicio de análisis e investigación de la Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Febrero 2006, 38 p.
142. Vargas Rosío; Valdés-Ugalde José Luis, *Dos modelos de integración energética. América del Norte /América del Sur*, México, CISAN/UNAM, 2007, 182 p.
143. Vargas Rosío; Valdés-Ugalde José Luis, *Alternativas energéticas para el siglo XXI*, México, CISAN/UNAM, 2006, 208 p.
144. Vargas Rosío, *La política energética estadounidense: ¿asunto de seguridad o de mercado?*, México, CISAN/UNAM, 2005, 62 p.
145. Varian Hal, *Microeconomía Intermedia*, Edit. Antoni Bosch, 1994, pp. 45 -123.
146. White Leslie, *Energy and the Evolution of Culture*, American Anthropologist, New Series, Vol. 45, No. 3, Part 1 (Jul. - Sep., 1943), pp. 335 -356.
147. Wirth Timothy; Grey Boyden; Podesta John, "The future of energy policy", en *Foreign Affairs*, Julio-Agosto 2003. pp. 125 -143.