

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL SECTOR TRANSPORTE DE MÉXICO:
PERSPECTIVAS E IMPACTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A :

HIDEKI DANIEL GARDUÑO MATSUBARA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALBERTO ELIZALDE BALTIERRA



2008

AGRADECIMIENTOS

A Héctor Garduño y Amelia Matsubara, por haber proporcionado todas las herramientas que cualquier estudiante hubiera soñado, deseado y necesitado; por haber tenido la paciencia necesaria; por haber creído siempre en mí. Es por ustedes que estoy aquí.

A Alberto Elizalde, por haber aceptado dirigir mi camino, por haber revisado numerosas veces cada una de estas hojas; por ayudarme a abrir puertas que yo no sabía que existían; por ser un excelente amigo, profesor y guía.

A mi familia, mis primos y mis amigos. Por impulsarme a buscar siempre más, por haberme hecho querer aspirar a más; por añadir esa presión adicional, en ocasiones tan necesaria, para poder salir adelante.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber proporcionado una educación de calidad, misma que sentó las bases para poder llegar a este momento.

DEDICATORIA

A Ana Lutteroth, quien a pesar de su entusiasmo, desafortunadamente no pudo ver el trabajo terminado. Nos volveremos a ver.

INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL 5
CAPÍTULO 1. Aspectos técnicos, económicos y medioambientales de los biocombustibles 11
Introducción 13
1.1. Definición de biocombustible 15
1.1.1. Estado sólido 15
1.1.2. Estado líquido 15
1.1.3. Estado Gaseoso 16
1.1.3.1. Biogas 16
1.2. Obtención, usos y subproductos de los biocombustibles 18
1.2.1. Etanol 19
1.2.2. Aceites vegetales 22
1.2.3. Biodiesel 23
1.2.4. Ganancia neta de energía 25
1.2.4.1. Balance negativo: Dr. David Pimentel 25
1.2.4.2. Balance positivo: Dr. Hosein Shapouri 26
1.3. Análisis comparativo de las propiedades de los biocombustibles 28
1.3.1. Biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos 28
1.3.2. Biocombustibles vs combustibles fósiles 30
1.3.3. Biocombustibles vs celdas de combustible 32
1.3.4. Biocombustibles vs baterías eléctricas 33
1.3.5. Balance de emisiones de CO_2 35
1.4. Impactos económicos, sociales y medioambientales de producción 35
1.4.1. Impactos económicos y sociales 35
1.4.1.1. Maíz como alimento o como combustible 36
1.4.1.2. Repercusiones en países importadores de maíz 37
1.4.1.3. Repercusiones en países exportadores de maíz o con una producción creciente 37
1.4.1.4. Costo de productos y servicios asociados 38
1.4.1.5. Maíz como sustituto de otras plantaciones 39
1.4.1.6. Agricultura sustentable 40
1.4.2. Impactos al Medio Ambiente (Ciclo de Vida) 40
1.4.2.1. Emisiones de GEI 43
1.4.2.2. Contaminación del aire, agua y suelos 44
1.4.2.3. Otros impactos ambientales 44
Conclusiones 45

CAPÍTULO 2. Experiencias internacionales del uso de biocombustibles en el sector transporte 47
Introducción 49
2.1. Uso de biocombustibles en Estados Unidos 50
2.1.1. Políticas Públicas 50
2.1.1.1. US Renewable Fuel Standard 50
2.1.1.2. US Federal Legislation 52
2.1.1.3. California Low Carbon Fuel Standard 53

2.1.1.4.Energy Policy act 2005 55
2.1.1.5.Subsidios 56
2.1.2. Capacidad de producción 56
2.1.2.1.Plantas 57
2.1.3. Demanda 58
2.1.3.1.Total 59
2.2. Uso de biocombustibles en Brasil 61
2.2.1. Políticas públicas 61
2.2.1.1.Programa Pró-Álcool 61
2.2.1.2.Subsidios 68
2.2.2. Capacidad de producción 69
2.2.2.1.Plantas 71
2.2.3. Demanda 71
2.2.3.1.Total 72
2.3. Uso de biocombustibles en la Comunidad Europea 73
2.3.1. Políticas públicas 74
2.3.1.1.Políticas comunes de la CE 75
2.3.1.2.Políticas de los principales productores de la CE 77
2.3.1.3.Subsidios 79
2.3.2. Capacidad de producción 80
2.3.2.1.Plantas 82
2.3.3. Demanda 83
2.3.3.1.Total 84
Conclusiones 85

CAPÍTULO 3. Sistemas de transporte eléctrico 89
Introducción 91
3.1. Historia de los sistemas de transporte eléctrico 92
3.1.1. Los primeros años, 1830 – 1930 92
3.1.2. La etapa intermedia, 1930 – 1990 95
3.1.3. La etapa actual, 1990 – presente 96
3.2. Sistemas de transporte de uso particular 97
3.2.1. Todo Eléctrico (All electric Plug-in) 97
3.2.2. Híbrido 101
3.2.3. Energía solar 104
3.3. Sistemas de transporte de uso público 107
3.3.1. Celdas de Combustible (Fuel Cells) 107
3.3.1.1. Principios de operación y elementos técnicos 107
3.3.1.2. Aspectos económicos 114
3.3.1.3. Aspectos medioambientales y sociales 115
3.3.1.4. Ventajas y desventajas 115
3.4. Análisis energético comparativo y ciclo de vida 117
3.4.1. Automóviles a gasolina 117
3.4.2. Automóviles híbridos 118
3.4.3. Automóviles eléctricos 118
3.4.4. Automóviles con celdas de combustible 119
Conclusiones 123

CAPÍTULO 4. Utilización de la energía eléctrica en el sector transporte en el mundo 125
Introducción 127
4.1. Estados Unidos 128
4.1.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular 129
4.1.1.1. Federal Tax Credit 129
4.1.1.2. Programa HFC 131
4.1.1.3. PROGRESS Act H.R. 1300 131
4.1.1.4. Estándar CAFE 133
4.1.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público 134
4.1.2.1. FreedomCAR y Fuel Partnership 134
4.1.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico 135
4.1.3.1. Particular 135
4.1.3.2. Público 136
4.2. Comunidad Europea 138
4.2.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular 138
4.2.1.1. CIVITAS 138
4.2.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público 140
4.2.2.1. CUTE/ECTOS 140
4.2.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico 144
4.2.3.1. Particular 144
4.2.3.2. Público 145
4.3. Japón 146
4.3.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular 146
4.3.1.1. NHP 146
4.3.1.2. Incentivos 147
4.3.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público 149
4.3.2.1. Programa JHFC 149
4.3.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico 150
4.3.3.1. Particular 150
4.3.3.2. Público 150
Conclusiones 153

CAPÍTULO 5. Perspectivas del uso de la energía eléctrica y los biocombustibles en el sector transporte de México al 2030 155
Introducción 157
5.1. Situación actual 158
5.1.1. Biocombustibles 158
5.1.2. Electricidad de la fuente (plug in) 161
5.1.3. Hidrógeno 162
5.2. Análisis de incentivos legales, comerciales, económicos y medioambientales para el desarrollo de estos proyectos 163
5.2.1. Biocombustibles 163
5.2.1.1. Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. 163
5.2.2. Electricidad de la fuente (plug in) 165
5.2.3. Hidrógeno 165
5.2.3.1. FONHIDRO 166

5.3. Posibilidades de ingresos a través del mercado internacional de Bonos de Carbono 169
5.3.1. Protocolo de Kyoto 169
5.3.1.1. Países anexo I 170
5.3.1.2. Países anexo II 170
5.3.1.3. Países no anexo I 171
5.3.1.4. Emisiones por país 171
5.3.1.5. Comercio de Emisiones (Artículo 17) 173
5.3.1.6. Aplicación Conjunta (Artículo 6) 173
5.3.1.7. Mecanismo de Desarrollo Limpio (Artículo 12) 173
5.3.2. Mecanismo de Desarrollo Limpio 174
5.3.2.1. Características 174
5.3.2.2. Pasos a seguir en la planeación de un MDL 175
5.3.2.3. Clasificación de proyectos 177
5.3.2.4. MDL en México 178
a) MDL relacionados con el sector autotransporte en México 179
5.3.3. Metodologías aplicables al transporte 180
5.3.3.1. Reducción de emisiones en el sector de transporte público 180
a) AM0031. Metodología para el transporte de pasajeros en autobús (Bus Rapid Transit) 181
b) Consideraciones generales 182
5.3.3.2. Sustitución de combustibles fósiles (Proyecto de Tipo III) 183
a) AM0047 (De NM0180). Producción de biodiesel para uso como combustible a base de aceite de cocina utilizado 183
b) NM0185. Producción de bioetanol anhidro basado en caña de azúcar para el transporte 184
c) NM0129. Metodología generalizada para el transporte de biocombustibles con LCA 185
d) Consideraciones generales 186
5.4. Análisis de escenarios al año 2030 en México 187
5.4.1. Situación actual 187
5.4.1.1. Proyección futura de uso de etanol 189
5.4.1.2. Proyección futura de uso de energía eléctrica (vehículos híbridos) 192
5.4.1.3. Proyección futura de uso de vehículos a base de hidrógeno (celdas de combustible) 196
5.4.2. Proyección combinada 199
Conclusiones 201
CONCLUSIONES GENERALES 205
RELACIÓN DE FIGURAS 209
RELACIÓN DE TABLAS 215
RELACIÓN DE ABREVIATURAS 217
BIBLIOGRAFÍA 221

Introducción General

1.- ANTECEDENTES

A raíz del incremento del precio del petróleo y debido a que su producción se concentra en un pequeño grupo de países, se han buscado alternativas para sustituirlo como energético, y entre las que se han desarrollado pueden mencionarse la producción de biocombustibles y la transición hacia un mercado basado en hidrógeno. Si consideramos que el petróleo es un recurso no renovable y si la demanda sigue creciendo al ritmo actual, el desarrollo será insostenible una vez alcanzado el límite máximo de su producción.

Con la reciente aprobación de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, en abril del 2007, el gobierno mexicano actual ha dejado claro que en la política energética tendrá un lugar importante la utilización de biocombustibles. Sin embargo, tras el veto por parte del poder ejecutivo en septiembre del año 2007 ocasionado por ambigüedades en redacción, resultaría pertinente para México, un país productor de petróleo, hacer el siguiente planteamiento: ¿Para qué invertir en un proceso que involucra un cambio en el uso de los alimentos, como es el caso del maíz o de la caña, que podría repercutir en el precio de los mismos, si los biocombustibles son comparativamente menos eficientes que la gasolina y cuya aplicación directa aún no ha sido probada en vehículos mexicanos?

¿Qué ventaja tecnológica representaría la investigación en alternativas energéticas en México, como el hidrógeno, en el corto plazo?

El uso de biocombustibles no es un tema novedoso. Brasil ha desarrollando y perfeccionando su programa por más de 3 décadas; aunque ahora exitoso, en su momento experimentó muchas dificultades. El programa energético en Estados Unidos promueve inversiones para satisfacer una supuesta demanda futura de biocombustibles. China ha decidido tajantemente no incursionar en el mercado de biocombustibles basados en maíz.

Por otra parte, los vehículos híbridos incrementan sus ventas. Simultáneamente, tecnologías basadas en celdas de combustible proveen de energía a autobuses experimentales alrededor del mundo. Energéticamente hablando, se vislumbra un futuro drásticamente distinto al actual en términos de transporte, por lo que es necesario definir cuáles son las posibilidades de desarrollo en nuestro país.

2.- OBJETIVO GENERAL

Analizar las perspectivas e impactos económicos y ambientales del uso de la energía eléctrica y de los biocombustibles en el sector transporte de México al año 2030.

3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Estudiar las diversas tecnologías utilizadas en el sector transporte en la actualidad, a modo de conocer su etapa de desarrollo, su grado de perfeccionamiento, su esquema económico-ambiental y sus costos de gestión.
2) Describir las acciones realizadas en materia energética en otros países donde algún esquema en particular se esté empleando exitosamente, o se haya realizado infructuosamente, mostrando en todo momento las condiciones que permitieron el éxito o propiciaron el fracaso de tal tecnología.
3) Estudiar, explicar y resaltar la importancia de un sistema de transporte eléctrico, a modo de conocer a fondo su utilidad y posible incorporación al sector de transporte particular.
4) Examinar las acciones realizadas en otros países en torno al sector eléctrico de transporte, con la finalidad de encontrar un símil entre ellos y poder deducir una fórmula que funcione en nuestro país.
5) Considerando todas las variables en un marco tanto global como local, realizar una prospectiva al año 2030 a modo de visualizar los alcances proyectados.

4.- METODOLOGÍA

La metodología seguida en la presente investigación se refleja en el siguiente capitulado.

1) En el primer capítulo, se realiza una investigación de tecnologías disponibles en países desarrollados y en vías de desarrollo, a fin de determinar estadísticamente las más prácticas y rentables de acuerdo con cada región.
2) En el segundo capítulo, mediante datos estadísticos, se estudia el grado de perfeccionamiento de dichas tecnologías en países donde las políticas gubernamentales y particulares de producción y utilización de diversos biocombustibles haya representado un éxito, o un fracaso.
3) En el tercer capítulo, utilizando el mismo esquema anterior, se propone una revisión a las acciones realizadas en otros países en torno al sector eléctrico de autotransporte.
4) En el cuarto capítulo, se revisa el grado de perfeccionamiento de tecnologías vistas en el tercer capítulo, resaltando los países donde dichas tecnologías hayan sido aplicadas con éxito.
5) En el quinto capítulo, tomando en cuenta los capítulos anteriores, así como las leyes y políticas gubernamentales presentes, se realiza una prospectiva al año 2030 a modo de proponer el escenario ambientalmente más sustentable y económicamente más viable.

Capítulo 1

Aspectos Técnicos, Económicos y Medioambientales de los Biocombustibles

Introducción

La dependencia energética del petróleo en países desarrollados, junto con la creciente demanda en países con una tasa elevada de crecimiento como China o India, sumada a la inestabilidad en medio oriente –ocasionada precisamente por ser ésta la región más rica en crudo – y más recientemente desastres naturales, ha generado un mercado susceptible a fluctuaciones estrepitosas e inesperadas. En estados productores, como México, el superávit ha inyectado al país un excedente histórico por concepto de exportación de crudo, el cual lejos de solventar problemas financieros, ha contribuido a fomentar una economía petrolera más dependiente; susceptible, por lo tanto, a las mismas fluctuaciones, desventajas y problemas que ello conlleva.

El petróleo es un recurso natural no renovable, lo cual no necesariamente quiere decir que terminará por agotarse físicamente en el corto plazo. En tiempos donde la preocupación por el cuidado del medio ambiente surge más por una cuestión económica que meramente ecológica, es necesario tener presente que un recurso se torna económicamente agotado cuando su costo de explotación supera su valor económico. Por esta razón, es necesario diseñar un modelo económico sustentable, a modo de no depender tanto de recursos no renovables, o explotarlos con responsabilidad para garantizar un bienestar económico a largo plazo.

Limitaciones tecnológicas, operativas y económicas, no permiten una sustitución total de energías convencionales por energías limpias, razón por la cual se ha considerado a los biocombustibles como una alternativa a corto y mediano plazo. Resulta evidente que el tema de los biocombustibles ha sido y seguirá siendo, un tema de gran polémica; sin embargo, es también cierto que este tema es tanto criticado como poco estudiado.

El desarrollo de este capítulo se divide en 4 partes:

La primera trata sobre la definición de biocombustible, así como su clasificación de acuerdo a su estado de agregación molecular, subproductos y utilidad.

La segunda trata sobre el proceso de obtención de los diversos biocombustibles, su mezcla con combustibles de origen fósil y su eficiencia energética comparativa. Cabe destacar, que toda esta información está enfocada estrictamente al proceso mismo, sin mencionar los costos asociados, ni sus impactos ambientales.

La tercera trata a fondo el comparativo energético de los biocombustibles más utilizados, en contraste con fuentes no renovables de energía, sistemas energéticos basados en hidrógeno (celdas de combustible, sistemas híbridos, etc) y baterías.

Finalmente, la cuarta parte trata sobre el costo económico, social y medioambiental que representaría producir y utilizar biocombustibles como medida de reducción de la dependencia del petróleo, a modo de iniciar el análisis que servirá como punto de partida para el segundo capítulo.

1.1. Definición de biocombustible

Se denomina biocombustible a cualquier combustible que se derive de la biomasa: organismos vivos o sus subproductos metabólicos. Es considerado como una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos como petróleo, carbón y combustibles nucleares. Con respecto a este tema, cabe diferenciar entre sostenible *(sustainable)* y ambientalmente amigable *(green)*. Mientras la primera hace referencia a la habilidad de desarrollar una función o proceso con algún grado de renovabilidad que puede ser completo o puede requerir esfuerzos adicionales para completar dicho proceso, el segundo término significa que se ha eliminado por completo el riesgo de dañar al ambiente y los recursos utilizados son completamente renovables.

La biomasa es una forma de energía solar almacenada, puesto que es capturada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis.

Se distinguen 3 estados en los que se puede encontrar un biocombustible:

1.1.1. Estado sólido

Son aquellos que se encuentran representados por madera, aserrín, paja de arroz, bagazo de caña seco, estiércol, carbón de leña, residuo de agricultura tal como algodón, cacahuates, etc.

El primer tipo de bioenergía utilizado y manipulado por el hombre es el fuego producido por la quema de madera.

1.1.2. Estado líquido

La bioenergía en estado líquido se puede dividir en 3 categorías principales:

1.1.2.1. Alcoholes

Son compuestos orgánicos en estado líquido volátil. De aquí se desprenden 2 tipos de alcohol utilizados para producir combustibles: Etanol y metanol.

1.1.2.2. Aceites vegetales y grasas animales

Tales como aceite de cocina, grasa animal y biodiesel derivado de aceites vegetales y grasas tras haber pasado por algún proceso químico.

1.1.2.3. Aceites de desperdicio

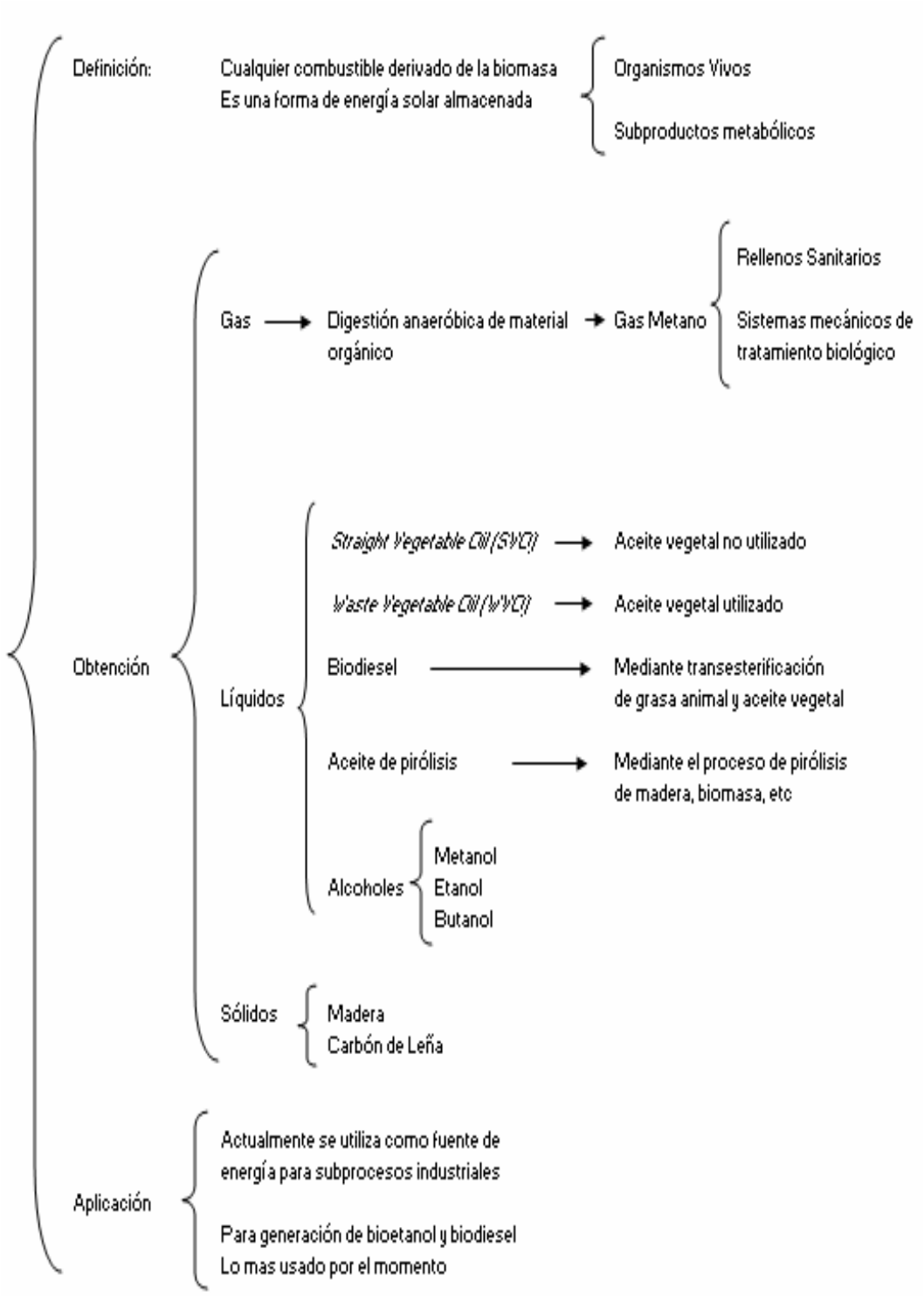
Son aceites que ya han sido utilizados y cuyas propiedades químicas y físicas son idénticas a las del petróleo, extraíbles de la biomasa para diversos procesos.

1.1.3. Estado Gaseoso

1.1.3.1. Biogas

El biogas típicamente se refiere al metano producido por la fermentación de materia orgánica, como estiércol en un ambiente libre de oxígeno.

Es utilizado como fuente de energía para aplicaciones caseras y de oficina así como para generación de electricidad. El proceso es común en áreas rurales puesto que provee una forma conveniente de convertir desecho en electricidad. El uso del biogas es muy favorecido puesto que se quema con una llama limpia y produce poca contaminación. Un metro cúbico de biogas produce 21.5 MJ de valor calórico o un equivalente de 0.46 Kg de valor calórico de gas LP (Licuado de Petróleo), o 1.2 kWh de electricidad y 1.6 Kg de Carbón de leña (PTT, 2006). La clasificación de biocombustibles se puede apreciar en la Figura 1.1.

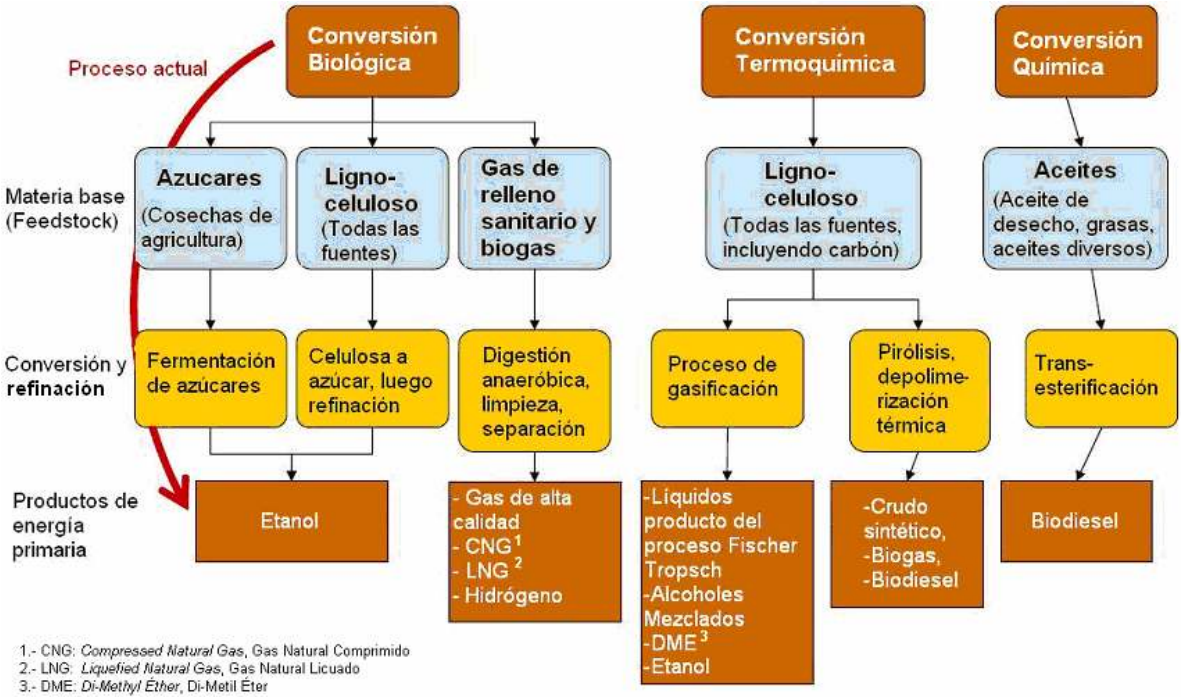


Fuente: Encyclopedia of Physical Sciences (2001)

Figura 1.1 Cuadro sinóptico de clasificación de biocombustibles.

1.2. Obtención, usos y subproductos de los biocombustibles

Diversas formas de biomasa pueden producir diferentes biocombustibles. Diversos procesos pueden llegar a un mismo producto, a la vez que diversos productos pueden ser obtenidos de los mismos procesos, tales como pirólisis [1], depolimerización térmica [2], procesos de gasificación[3], digestión anaeróbica[4] y la transesterficación[5] (Figura 1.2).



Fuente: Institute of Transportation Studies (2007).

Figura 1.2 Esquema del proceso de obtención de los diversos biocombustibles.

[1] Consiste en la descomposición de la materia orgánica por la acción de calor en ausencia de oxígeno.
[2] Se refiere al proceso mediante el cual se reducen materiales orgánicos complejos en petróleo sintético.
El proceso consiste en someter a altas presiones y temperatura los diversos materiales a modo de simular las condiciones que se cree influyen en el proceso natural de la formación del petróleo.
[3] Se basa en recoger en aquellos procesos que llevan implícita una combustión en condiciones de efecto de oxígeno (Armstead, 1993).
[4] Es una fermentación microbiana en rigurosas condiciones de ausencia de oxígeno y da lugar a una mezcla de productos gaseosos
[5] Proceso mediante el cual se convierte un alcohol y un éster en otro alcohol y otro éster (Ver Biodiesel, punto 1.2.3)

1.2.1. Etanol

Es un compuesto químico inflamable, incoloro y ligeramente tóxico con un olor característico a perfume, se diferencia del etano (C_2H_6) por contar con un radical OH, siendo su fórmula química (C_2H_6OH). Es un compuesto con un alto octanaje: 99.8% anhídrido de etanol contiene un número de octano de 113. Se le denomina bioetanol a aquel obtenido a través de la biomasa y posee la misma fórmula química que su símil fósil, distinguible únicamente por su datación mediante carbono 14 por lo que para fines prácticos se le conoce simplemente como etanol.

1.2.1.1. Proceso de obtención

La plantación a utilizar debe tener un alto contenido en azúcares, tales como la gramínea (Miscanthus sinensis), *switchgrass* (Panicum virgatum), ñame (Ipomoea batatas), madera de álamo (Populus trichocarpa), sorgo, remolacha (Beta vulgaris), caña de azúcar (Saccarum spp), yuca o mandioca (Manihot esculenta), maíz (Zea mays) o trigo (Triticum spp) (Figura 1.3). Se vislumbra también la posibilidad de utilizar la Jathropha (Jathropha curcas).



Fuente: www.google.com (2007).

Figura 1.3 Plantaciones más comunes para producción de etanol.

La plantación deberá ser triturada; en caso que esta contenga un alto contenido de almidón, como puede ser el caso de la yuca, se pasa a un proceso intermedio en el cual el mismo es convertido en azúcar mediante ácidos o enzimas.

Una vez que se tiene el azúcar, se utiliza levadura para fermentar el producto, convirtiéndolo en alcohol etílico o etanol y posteriormente es destilado hasta alcanzar un 95.6% de pureza por volumen. Para poder ser utilizado como combustible, se utilizan diversos procesos de deshidratación, a fin de alcanzar un 99.5% de pureza por volumen.

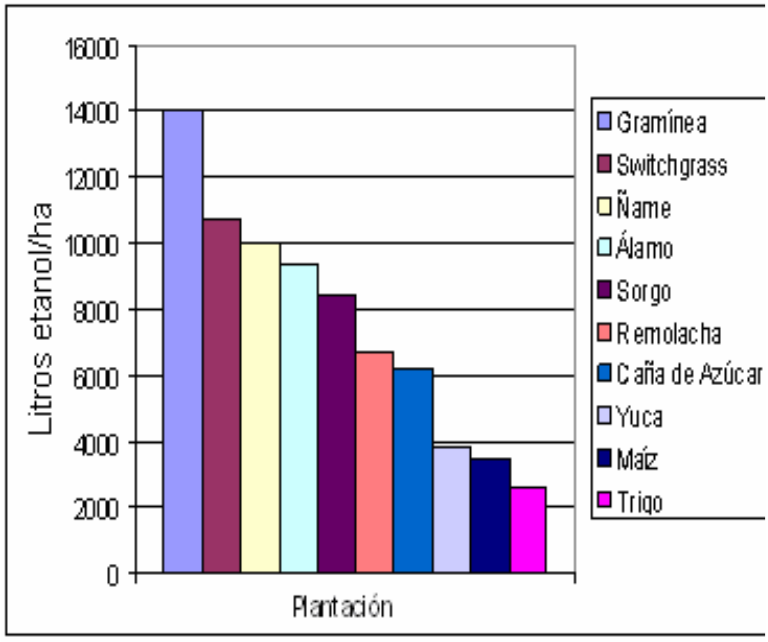
1.2.1.2. Características

La Tabla 1.1 y la Figura 1.4 muestran, en forma comparativa, la productividad de cada plantación. Cabe recalcar que la plantación más productiva no es necesariamente la más viable, puesto que depende de la región donde se esté trabajando, por lo tanto, las políticas particulares dependerán de condiciones geográficas, climáticas y laborales.

Tabla 1.1 Plantaciones asociadas con la producción de etanol

Plantación	Litros etanol/ha
Gramínea	14031
Switchgrass	10757
Ñame	10000
Álamo	9354
Sorgo	8419
Remolacha	6679
Caña de Azúcar	6192
Yuca	3835
Maíz	3461
Trigo	2591

Fuente: Nature, (2006)



Fuente: Adaptado de Nature (2006).

Figura 1.4 Plantaciones asociadas con la producción de etanol

Algo que cabe destacar, es que tanto el maíz como la caña (las dos fuentes principales de etanol en el mundo) producen una cantidad relativamente baja de etanol por hectárea, comparadas con otras plantaciones. La razón por la que se ha promovido esta práctica es, como se estableció anteriormente, el beneficio económico. En Estados Unidos, país con gran infraestructura agrícola en siembra de maíz y proveedor del 40% de todo el maíz que se comercializa en el mundo, se cuenta con el sistema de irrigación, infraestructura y clima propicio para que se puedan sembrar grandes superficies de este cereal, obteniendo grandes cantidades de maíz para usos múltiples. En Brasil, por otra parte, se tiene una gran infraestructura cañera gracias a su clima tropical, con una larga trayectoria, lo cual ha permitido convertirlo en un país exportador del energético.

1.2.1.3. Usos

Una vez procesado, el etanol puede ser utilizado directamente como combustible (algunas piezas del motor de combustión deben ser sustituidas, puesto que se trata de un líquido corrosivo) o puede ser combinado con gasolina para producir gasohol, o con diesel para producir diesohol. En el caso de mezclarse con gasolina, se utilizan comúnmente dos concentraciones: 10% etanol y 90% gasolina (gasohol) y 85% etanol y 15% gasolina (E85, muy utilizado en Brasil).

1.2.1.4. Subproductos de la producción de etanol

En el proceso de elaboración de etanol, existen también distintos subproductos, los cuales son generalmente utilizados y reinsertados en el proceso, aminorando los efectos contaminantes del ciclo de vida del mismo, o bien, generando un mercado alternativo que colabora con la amortización de costos. Un ejemplo de ello es el DDGS[6], el cual ha probado ser una alternativa al maíz como fuente de engorda para cerdos y aves, siendo una forma de retribuir un poco en costos de operación y producción.

[6] DDGS, *Distiller's Dried Grains with Solubles*, Granos destilados secos con solubles.

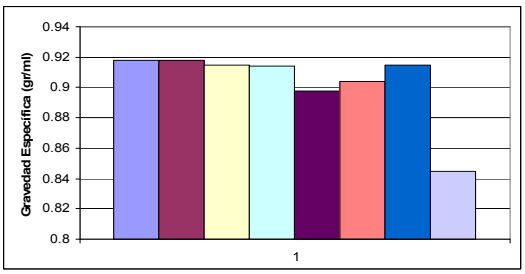
1.2.2. Aceites vegetales

1.2.2.1. Proceso de obtención

El aceite vegetal es aceite procesado derivado de fuentes tales como la semilla de soya, de girasol, coco, nuez, etc. Es un compuesto triglicérido de alta viscosidad y estructura molecular C_3H_5, lo cual incluye una gran variedad de ácidos grasos, representando aproximadamente el 94-96% del peso molecular de los triglicéridos.

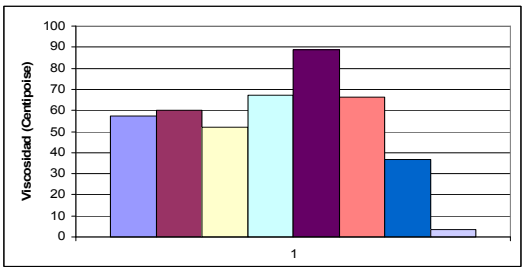
1.2.2.2. Características

Cada tipo de aceite vegetal posee un grado de viscosidad distinto; sin embargo, todos se encuentran por encima del grado correspondiente al diesel y poseen un valor calórico ligeramente menor: en promedio, los aceites naturales equivalen de 83 a 85% el valor del diesel (Figura 1.6) y 10 veces más viscoso que el mismo (Jenvanitpanjakul, 2001) (Figura 1.7). Por ello es más complicado rociarlo a través del inyector de combustible, dando como resultado una combustión incompleta. Por otra parte, dado que el aceite vegetal se evapora lentamente y en cantidades pequeñas, el proceso de ignición es a menudo difícil y los carbones no consumidos puede acumularse en el inyector, cilindros y válvulas cuando se emplea en automóviles de alta velocidad. Adicionalmente, el aceite vegetal es inestable, puesto que a medida que la temperatura disminuye, la viscosidad aumenta, llegando incluso a formar una sustancia similar a la cera, obstruyendo el canal de suministro de combustible.



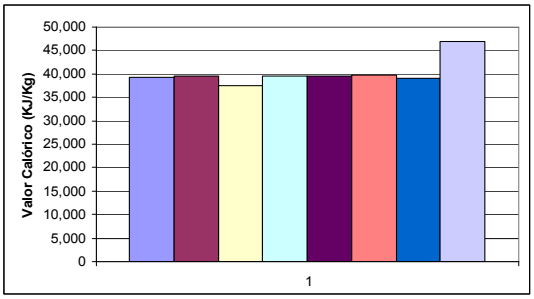
Fuente: Jenvanitpanjakul (2001).

Figura 1.5 Gravedad específica de los aceites vegetales y diesel fósil.



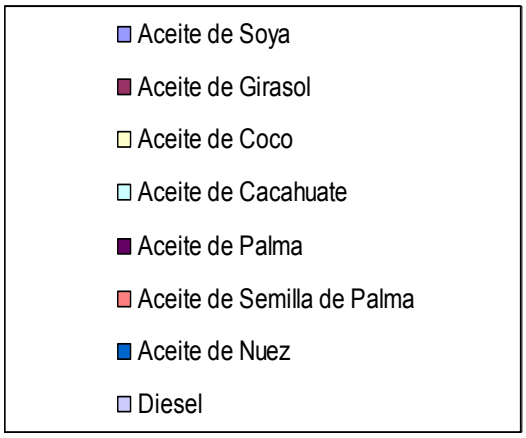
Fuente: Jenvanitpanjakul (2001).

Figura 1.6 Viscosidad de los aceites vegetales y diesel fósil.



Fuente: Jenvanitpanjakul (2001).

Figura 1.7 Valor calórico de los aceites vegetales y diesel fósil.

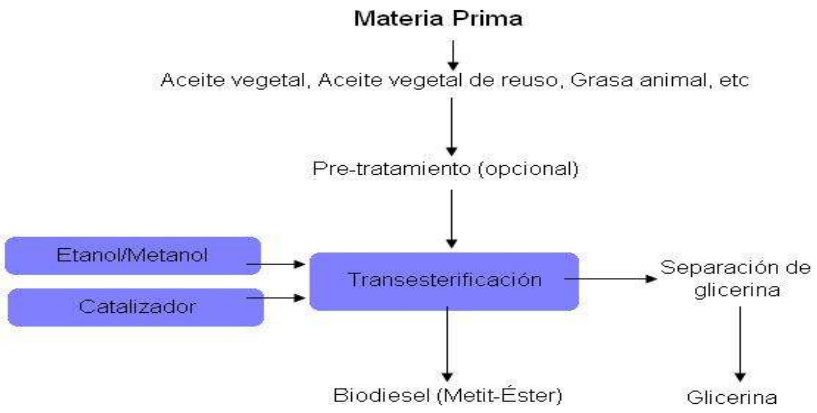


1.2.2.3. Usos

El diesel y los aceites vegetales comparten varias propiedades físicas y químicas, por lo que resulta más sencillo utilizar aceite vegetal en motores diesel que en motores a gasolina, particularmente en motores diesel de bajas revoluciones tales como aquellos utilizados para procesos agrícolas y para la pesca.

1.2.3. Biodiesel

Es un combustible oleaginoso producido químicamente por la reacción entre el aceite vegetal, grasa animal o aceite de cocina previamente utilizado; con un alcohol como metanol o etanol en presencia de un catalizador para generar ésteres *monoalkyl* y glicerina, la cual es removida (Figura 1.8).



Fuente: Jenvanitpanjakul (2001).

Figura 1.8 Proceso de obtención del biodiesel.

1.2.3.1. Proceso de obtención

El proceso es conocido como *transesterificación* y el éster *monoalkyl* obtenido posee propiedades muy similares al diesel, por lo tanto, es llamado biodiesel o B100.

1.2.3.2. Características

El biodiesel posee características muy similares a los aceites vegetales: es un compuesto oleaginoso, pero con una viscosidad menor.

La densidad promedio del B100 es de 0.880 g/cm^3 y de manera semejante al etanol, se obtiene un valor calórico ligeramente menor que el diesel fósil. La diferencia no es tan marcada, como en el caso del etanol, puesto que un galón de B100 equivale a 91.34% del valor correspondiente al diesel (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Densidad promedio y valor calórico del biodiesel y diesel fósil.

Combustible	Densidad (g/cm^3)	Btu/galón, promedio	Diferencia en porcentaje vs diesel fósil
Diesel	0.850	129,500	N/A
B100	0.880	118,296	8.65%
B20	0.856	127,259	1.73%
B2	0.851	129,276	0.17%

Fuente: NBB (2006).

1.2.3.3. Usos

En combinación con diesel fósil, se utilizan 3 grados básicos: B2, B20 y B100, lo cual representa una mezcla de 2% biodiesel y 98% diesel, 20% biodiesel y 80% diesel y 100% biodiesel, respectivamente.

1.2.3.4. Subproductos del biodiesel

Adicionalmente, los subproductos obtenidos, tales como la glicerina, puede ser utilizada en fármacos, cosméticos y lubricantes, a la vez que nuevas aplicaciones son descubiertas cada día, a raíz de una incrementada oferta, lo cual puede propiciar un nuevo mercado para este subproducto.

1.2.4. Ganancia neta de energía

El término ganancia neta de energía hace referencia a la cantidad de energía obtenida por unidad de energía utilizada, proveniente de fuentes no renovables.

En este rubro, existen varios estudios:

1.2.4.1. Balance negativo: Dr. David Pimentel

Uno de los más representativos es el publicado por David Pimentel, en conjunto con Tad W. Patzek, de la universidad de Cornell, en 2005 (Pimentel y Patzek, 2005).

El estudio ha sido bastante criticado por grupos pro-etanol, pues en él se genera un gran impacto ambiental y nula ganancia de energía. Entre las cifras más sobresalientes, se destacan:

- El maíz requiere 29% más energía fósil que el combustible producido
- *Switchgrass* requiere 45% más energía fósil que el combustible producido

- Biomasa de madera requiere 57% más energía fósil que el combustible producido

En lo referente al biodiesel, el estudio arroja los siguientes valores:

- La semilla de soya requiere 27 % más energía fósil que el combustible producido
- La planta de girasol requiere 118% más energía fósil que el combustible producido

Para el desarrollo de dicho análisis, se consideró el impacto del ciclo de vida con factores tales como la energía utilizada para producir la plantación (maíz, soya, etcétera), incluyendo pesticidas y fertilizantes, maquinaria de agricultura e irrigación, molienda y transporte de materia prima, así como la energía necesaria para los procesos de fermentación y destilación de etanol de la mezcla acuosa.

Los costos adicionales, tales como subsidios y costos asociados con la contaminación ambiental o degradación del suelo, no fueron incluídos.

1.2.4.2. Balance positivo: Dr. Hosein Shapouri

En contraparte, el Dr Hosein Shapouri, en conjunto con la USDA[7] y la OCE[8], indican un balance positivo en la producción de etanol a base de maíz.

El estudio surge como una contrarréplica al argumento originado por David Pimentel y Tad Patzek, en el año 2005, donde Shapouri establece que el estudio original subestimaba la energía utilizada en la producción de fertilizante basado en nitrógeno, así como la energía necesaria para producir semilla de maíz y sobreestimando la energía almacenada en la producción de subproductos de etanol a base de maíz.

El argumento también establece que la USDA excluyó la cantidad de energía utilizada en irrigación de maíz y entradas secundarias de energía utilizadas en la producción de maíz, tales como maquinaria y equipo, cemento, acero y acero inoxidable, todos utilizados en la construcción de plantas de etanol.

[7] USDA: *United States Department of Agriculture.*
[8] *OCE: Office of the Chief Economist*

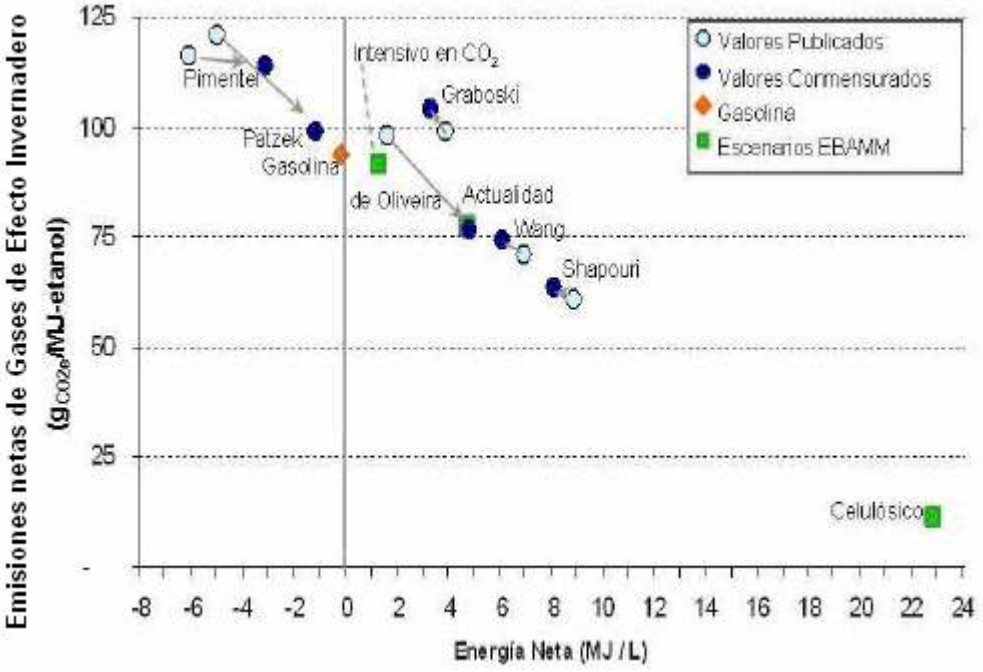
Este nuevo estudio considera información de fuentes diversas, tales como ARMS[9], ERS/USDA[10], 2001 ACU[11] y NASS/USDA[12]. El estudio arroja los datos mostrados en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Uso de energía y valor neto de energía por galón con créditos de co-productos, 2001

Proceso de producción	Proceso de molienda		Peso promedio
	Seco	Húmedo	
	Btu por galón		
Producción de Maíz	12457	12244	12350
Transporte de Maíz	1411	1387	1399
Conversión de Etanol	27799	33503	30586
Distribución de Etanol	1467	1467	1467
Energía total utilizada	43134	48601	45802
Valor neto de energía	33196	27729	30528
Ganancia neta de energía	1.77	1.57	1.67

Fuente: Shapouri (2005).

Siguiendo una metodología similar, se han hecho distintos estudios, siendo éstos dos los más representativos, pues establecen el intervalo sobre el cual se trabaja. (Figura 1.9).



Fuente: Science (2006), citado por Mena (2007).

Figura 1.9: Esquema de ganancia neta de energía.

[9] *ARMS: Agricultural Resource Management Survey*
[10] *ERS: Economic Research Service*
[11] *ACU: Agricultural Chemical Usage*
[12] *NASS: National Agricultural Statistics Service*

Estudios posteriores, aplicados a plantaciones potenciales de producción, arrojan los siguientes datos (Tabla 1.4):

Tabla 1.4 Balance energético para la producción de etanol

Biomasa	Energía producida / Energía fósil utilizada (en condiciones más eficientes)
Trigo	Aproximadamente 2
Remolacha	Aproximadamente 2
Maíz	1.5
Caña	8

Fuente: SENER-BID-GTZ (2007).

1.3. Análisis comparativo de las propiedades de los biocombustibles

1.3.1. Biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos

Estudios diversos revelan una baja densidad específica en biocombustibles de origen sólido, incrementando ligeramente con los de origen líquido y alcanzando su máxima densidad en aquellos de origen gaseoso.

Adicionalmente, con los biocombustibles de origen sólido se tiene un bajo índice energético, el cual prácticamente se duplica para el caso de los líquidos y éste a su vez se duplica una vez más en el caso de los biocombustibles en estado gaseoso. Cabe destacar que las emisiones de CO_2 al ambiente mantienen una media relativamente elevada, siendo el energético menos contaminante el producido a través de aceites de pirólisis y el más contaminante el biodiesel. La información vertida en la Tabla 1.5 reporta los valores de las principales fuentes de energía alternativa considerada.

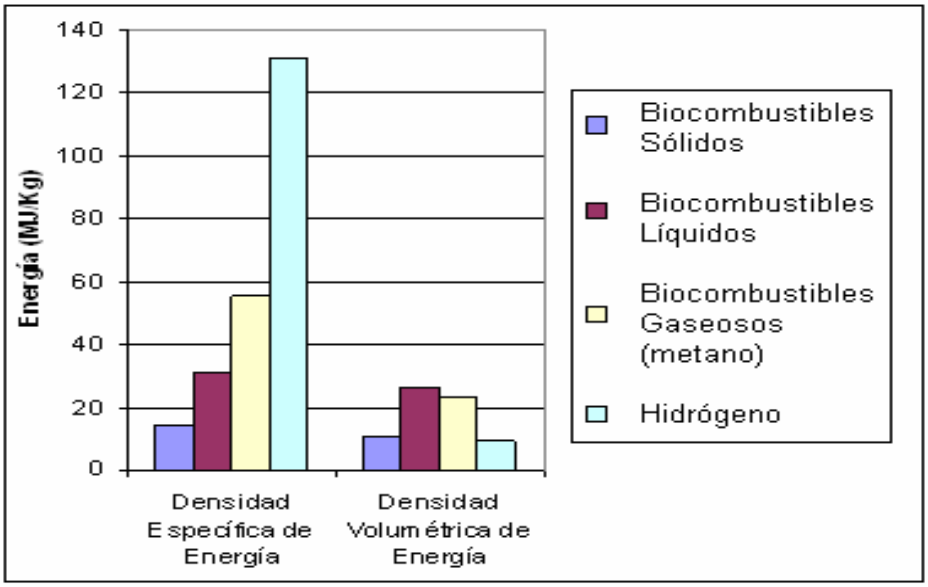
Tabla 1.5 Densidad específica, volumétrica y toneladas de CO_2 por Kg utilizado para los diversos biocombustibles, según su estado de agregación molecular.

Tipo de Combustible	Densidad Específica de Energía (MJ/kg)	Densidad Volumétrica de Energía (MJ/L)	Ton CO_2/kg
Biocombustibles Sólidos			
Bagazo de Caña	9.6	?	1295.546559
Restos de semillas	14.6	?	?
Estiércol	10 15	?	?
Plantas Secas $(C_6H_{10}O_5)_n$	10 16	1.6 16.64	1838.2 1839.1
Madera $(C_6H_{10}O_5)_n$	16 21	2.56 21.84	1880 1880.1
Biocombustibles Líquidos			
Aceite de Pirólisis	17.5	21.35	842.5613866
Metanol (CH_3-OH)	19.9 22.7	15.9	1373.3 1373.4
Etanol (CH_3-CH_2-OH)	23.4 26.8	18.4 21.2	1910.2
EcaleneTM	28.4	22.7	2025.677603
Butanol (CH_3-(CH_2)3-OH)	36	29.2	2374.670185
Grasa	37.656	31.68	?
Biodiesel	37.8	33.3 35.7	2850.678733
Aceite de girasol ($C_{18}H_{32}O_2$)	39.49	33.18	2812.678063
Castor oil ($C_{18}H_{34}O_3$)	39.5	33.21	2668.918919
Aceite de olivo ($C_{18}H_{34}O_2$)	39.25 39.82	33 33.48	2797.6 2838.2
Biocombustibles Gaseosos			
Metano (CH_4)	55 55.7	23.0 23.3	2743.1 2743.8
Hidrógeno (H_2)	120 142	8.5 10.1	0

Fuente: GPC (2006).

De forma comparativa, la energía liberada por el hidrógeno corresponde a más del doble que el metano (biogas por excelencia). El hidrógeno no es considerado un biocombustible, puesto que el proceso de obtención es mayoritariamente mediante electrólisis, sin embargo, también puede obtenido mediante un proceso denominado cracking[13] (Figura 1.10).

[13] Proceso que normalmente ocurre al interactuar el hidrógeno con el metal, debilitándolo. Orgánicamente, el hidrógeno puede ser obtenido al simplificar moléculas complejas.



Fuente: GPC (2006).

Figura 1.10 Relación de energía para biocombustibles e hidrógeno.

1.3.2. Biocombustibles vs combustibles fósiles

Para efectos comparativos, la siguiente Tabla 1.6 muestra los combustibles fósiles en su conjunto. Para fines prácticos, sin embargo, se les dividirá posteriormente en no radiactivos y nucleares.

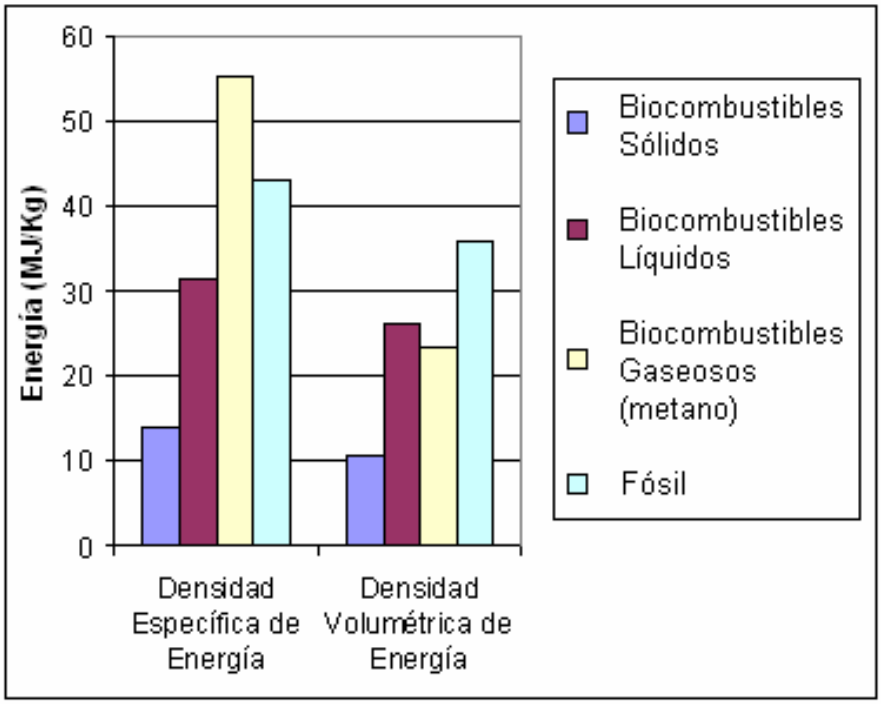
Tabla 1.6 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para los diversos combustibles fósiles.

Tipo de Combustible	Densidad Específica de Energía (MJ/kg)	Densidad Volumétrica de Energía (MJ/L)	Ton CO_2/Kg (MJ/kg)
Combustibles Fósiles (comparación)			
Carbón	29.3 – 33.5	39.85 - 74.43	~3590
Crudo	41.868	28 – 31.4	~3401
Gasolina	45 – 48.3	32 – 34.8	~3299
Diesel	48.1	40.3	3399
Gas Natural	38 – 50	(Líquido) 25.5 – 28.7	3000
Etano (CH3-CH3)	51.9	(Líquido) ~24.0	2930.5
Uranio-235 (^{235}U)	77,000,000	(Puro) 1,470,700,000	6077348066
Fusión Nuclear(^{2}H-^{3}H)	300,000,000	(Líquido) 53,414,377.6	0

Fuente: BUF (2006)

1.3.2.1. No radiactivos

En comparación con combustibles fósiles tradicionales no radiactivos, la densidad específica promedio de energía es menor en líquidos, pero mayor en gases (Figura 1.11).

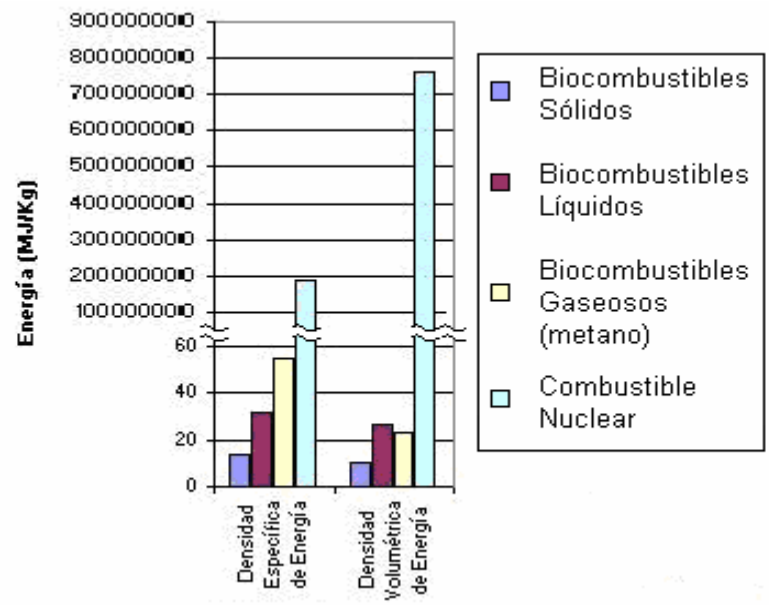


Fuente: BUF (2006)

Figura 1.11 Relación de energía para biocombustibles y combustible fósil.

1.3.2.2. Combustible Nuclear

Comparado con fuentes fósiles, se puede apreciar claramente que los combustibles radiactivos son muy superiores; sin embargo, la energía desprendida mediante una fisión nuclear requiere condiciones muy específicas de operación, cuyo costo probablemente resultaría prohibitivamente elevado para siquiera considerarla en un sistema autopropulsado de baja envergadura. La comparación, sin embargo, sirve para establecer el intervalo energético del que se está hablando (Figura 1.12).



Fuente: BUF (2006)

Figura 1.12 Relación de energía para biocombustibles y combustible nuclear.

1.3.3. Biocombustibles vs celdas de combustible

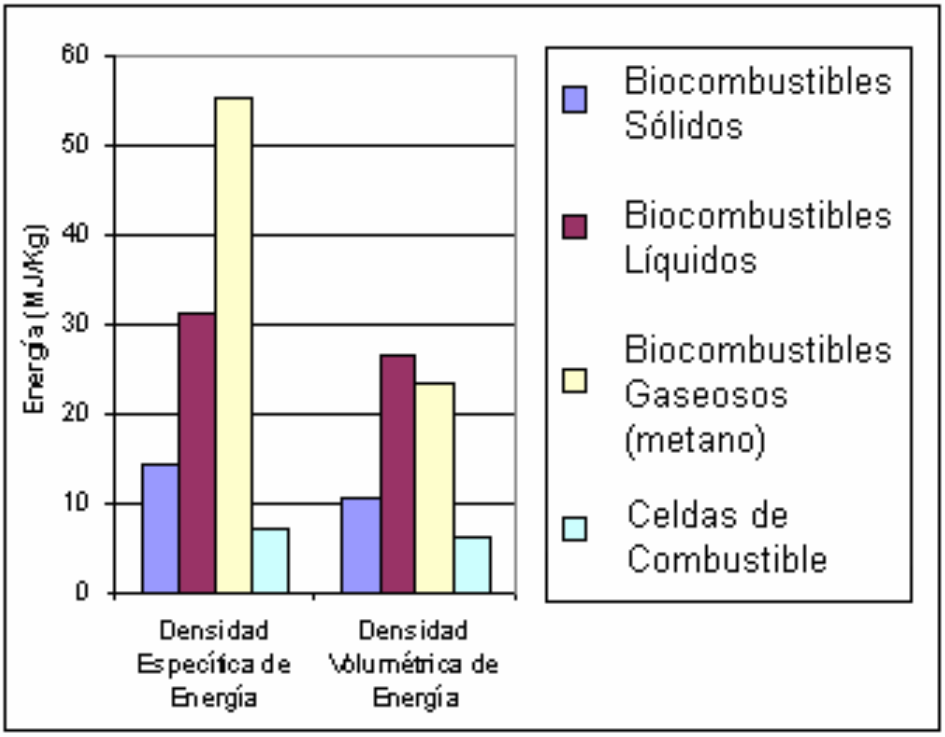
En este respecto, se consideró una media en la densidad de energía de las diversas celdas de combustible que existen en la actualidad, tales como las de metanol directo, *Proton Exchange* y la de hídrido de sodio (Tabla 1.7).

Tabla 1.7 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para las diversas tecnologías de celdas de combustible.

Tipo de Combustible	Densidad Específica de Energía	Densidad Volumétrica de Energía	Energía por CO_2	Ton CO_2/kg
	(MJ/kg)	(MJ/L)	(MJ/kg)	
Almacenamiento de energía mediante Celdas de Combustible (Comparativo)				
Direct-Methanol	4.5466	3.6	3.31	1373.595166
Proton-Exchange	5.68	4.5	0	0
Sodium Hydride	11.13	10.24	0	0

Fuente: United Nations Joint Logistics Center (2006)

De acuerdo con los datos recolectados, la densidad específica de energía sigue siendo mayor en los biocombustibles que en las celdas de combustible, lo cual significa que aún es necesario hacer mejoras en la tecnología de estas últimas para considerarlas como una solución más atractiva (Figura 1.13).



Fuente: UNJLC (2006)

Figura 1.13 Relación de energía para biocombustibles y celdas de combustible.

1.3.4. Biocombustibles vs baterías eléctricas

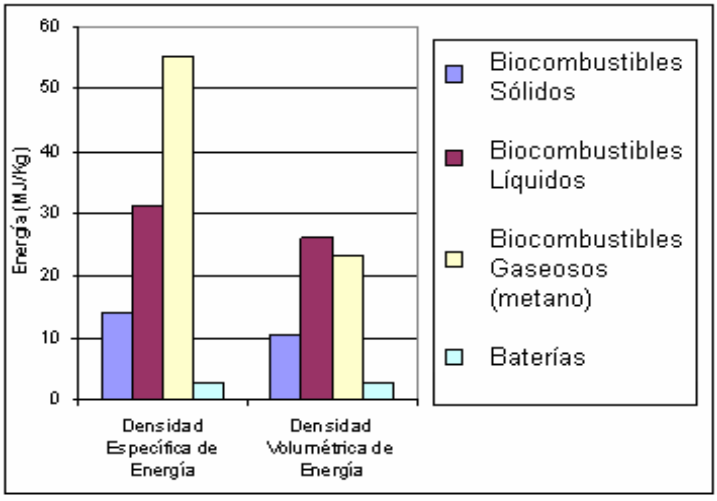
El comparativo con las baterías es, una vez más, para determinar el intervalo de energía que se está manejando (Tabla 1.8).

Tabla 1.8 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para las diversas tecnologías de baterías.

Tipo de Combustible	Densidad Específica de Energía		Densidad Volumétrica de Energía		Ton CO_2/kg
	Min	Max	Min	Max	
	(MJ/kg)		(MJ/L)		
Almacenamiento en Baterías (Comparativo)					
Lead-acid battery	0.108		0.1		0
Nickel-iron battery	0.049	0.11	0.0658	0.1772	0
Nickel-cadmium battery	0.162	0.288	0.24		0
Nickel metal hydride	0.22	0.324	0.36		0
Super iron battery	0.33		0.54		0
Zinc-air battery	0.396	0.72	0.5924	0.8442	0
Lithium ion battery	0.54	0.72	0.9	1.9	0
Lithium-Ion-Polymer	0.65	0.87	1.08	2.28	0
DURACELL® Zinc-Air	1.0584	1.591	5.148	6.3216	0
Aluminium battery	1.8	4.788	7.56		0
PolyPlusBC Li-Aircell®	3.6	32.4	3.6	17.64	0

Fuente: www.sciencenews.org

El estudio realizado por Stuart Licht, académico de la Universidad de Massachussets; Digby D. MacDonald, de la Universidad de Pennsylvania y Ran Tel Vered, Universidad de Technion Israel Institute of Technology, revela una baja densidad específica de energía en comparación con los biocombustibles en general[14] (Figura 1.14)



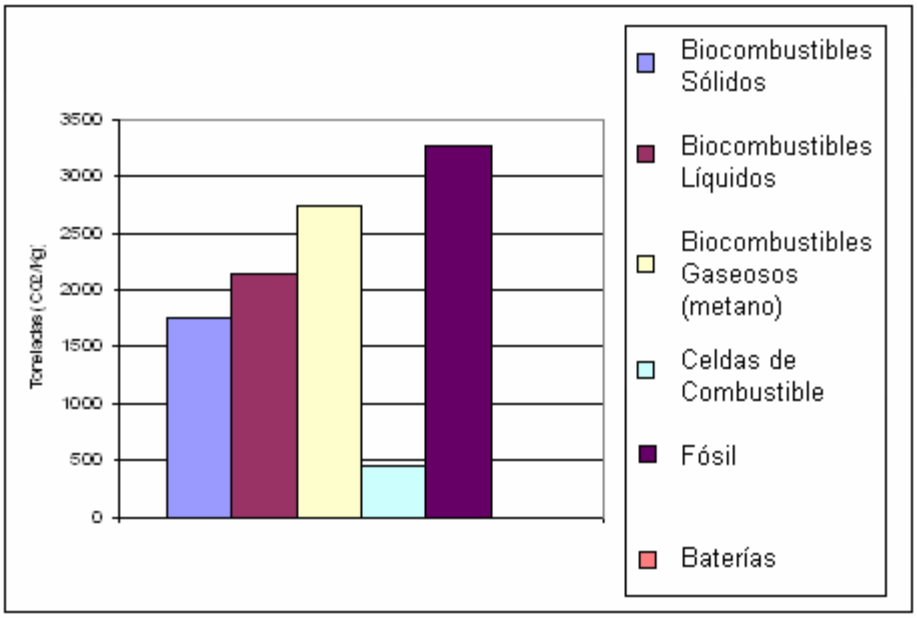
Fuente: Science News (2004)

Figura 1.14 Relación de energía para biocombustibles y baterías.

[14] www.sciencenes.com

1.3.5. Balance de emisiones de CO_2

Las emisiones totales de CO_2 al ambiente se muestran a continuación (Figura 1.15):



Fuente: GPC (2006), BUF (2006), UNJLC (2006) y Science News (2004).

Figura 1.15 Emisiones de CO_2 al ambiente por tecnología y proceso

1.4. Impactos económicos, sociales y medioambientales de producción.

En este apartado se analizan los impactos que ocasiona de manera directa e indirecta la cadena productiva de elaboración de biocombustibles.

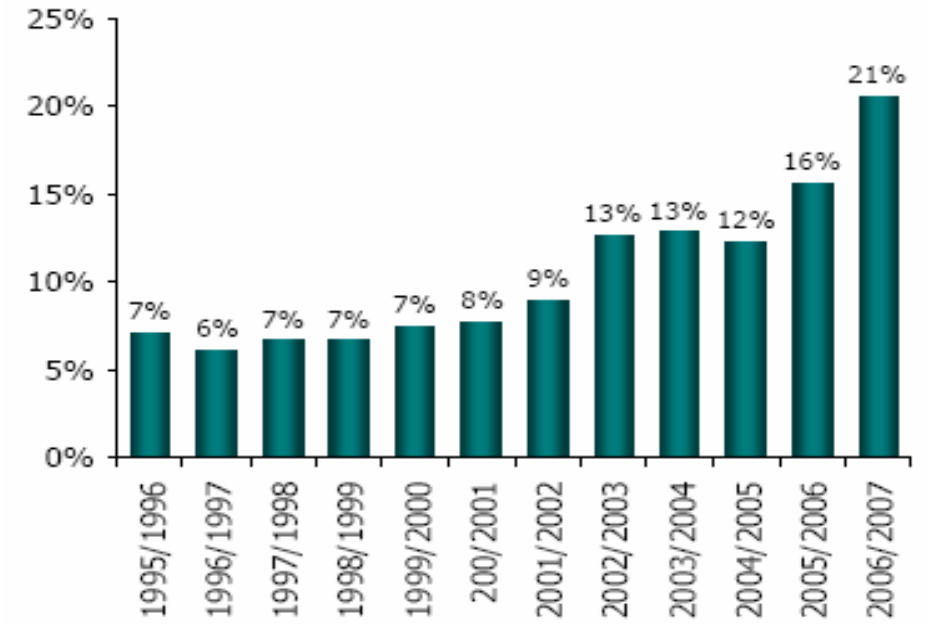
1.4.1. Impactos económicos y sociales

Se consideran aquellos impactos relacionados con el alza de precios a causa de la utilización y producción del etanol.

1.4.1.1. Maíz como alimento o como combustible

Un debate reciente en el sector alimenticio en Estados Unidos, es sobre el uso que se debe dar al maíz, ya sea como materia prima para producir etanol, o bien, como alimento de engorda.

La capacidad anual de producción de etanol en Estados Unidos, para febrero del año 2006, fue de 4,400 millones de galones (16,654 millones de litros), con plantas en construcción para añadir 2,200 millones de galones (8,327 millones de litros) adicionales. Se espera obtener, para el año 2010, una cifra récord de 7,000 millones de galones (26,495 millones de litros) (USDA, 2007), por lo que en Estados Unidos, el porcentaje del maíz destinado a elaboración de etanol, ha aumentado considerablemente en los últimos 2 años (Figura 1.16).



Fuente: IMCO, citado por Newell (2007).

Figura 1.16 Porcentaje de maíz para producción de etanol en Estados Unidos

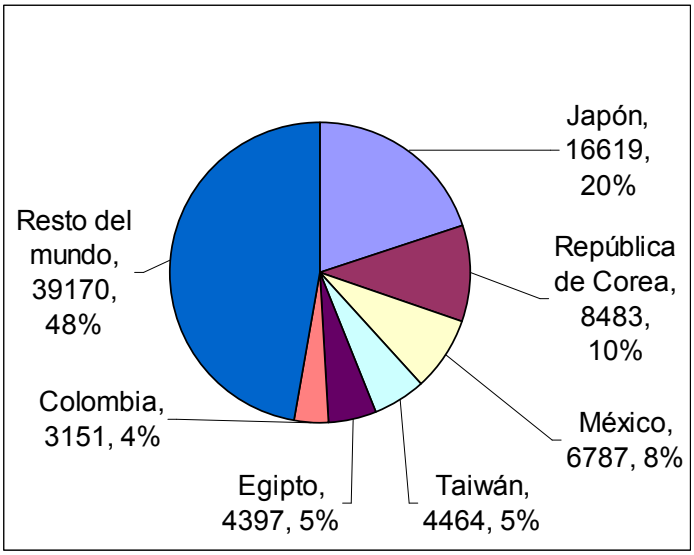
Con una media de 148 *bushels*[15] por acre (365.42 *bushels*/hectárea), se estima que serán necesarios 2,600 millones de *bushels* por año, para el año 2010, lo cual equivale a sembrar 7.11 millones de hectáreas cada año para satisfacer la demanda proyectada.

[15] Fanega, Medida de áridos equivalente a aproximadamente 18.6 Kg.

Como referencia, 7.11 millones de hectáreas son 71,100 km^2, lo cual es poco menos que el área del estado de Chiapas (73,887 km^2), o poco más que Irlanda (70,280 km^2). Triplicando esa cantidad (estimado para 2010), tenemos una superficie de 213,000 km^2, equivalente a poco más del 10% de todo el territorio mexicano.

1.4.1.2. Repercusiones en países importadores de maíz

De acuerdo con las cifras anteriores, el verdadero reto económico radicará en la forma como se piense obtener una cantidad tan elevada de maíz: dado que se prevé que gran parte del mismo sea desviado de las exportaciones, se tendrá que manejar un esquema nuevo en infraestructura y países importadores de maíz estadounidense tales como Egipto, Corea, Japón y México, pueden verse afectados (Figura 1.17).

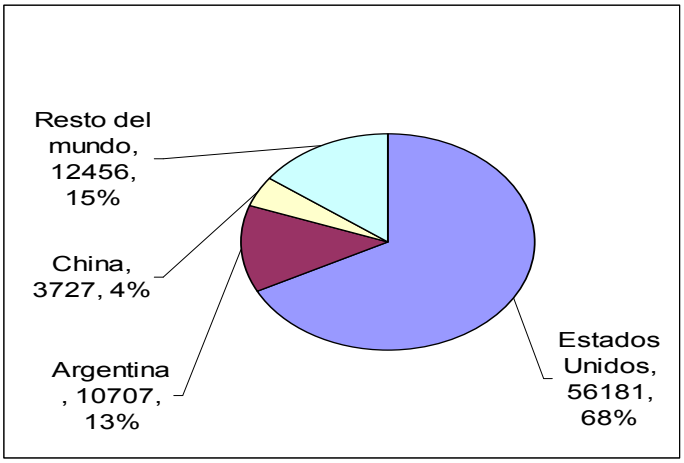


Fuente: ERS, USDA, (2006 a)

Figura 1.17 Países importadores de maíz y su participación en el mercado mundial

1.4.1.3. Repercusiones en países exportadores de maíz o con una producción creciente

Un aumento en el precio del maíz es, a primera vista, bueno para los países exportadores (Figura 1.18).



Fuente: ERS, USDA, (2006 b)

Figura 1.18 Países exportadores de maíz y su participación en el mercado mundial.

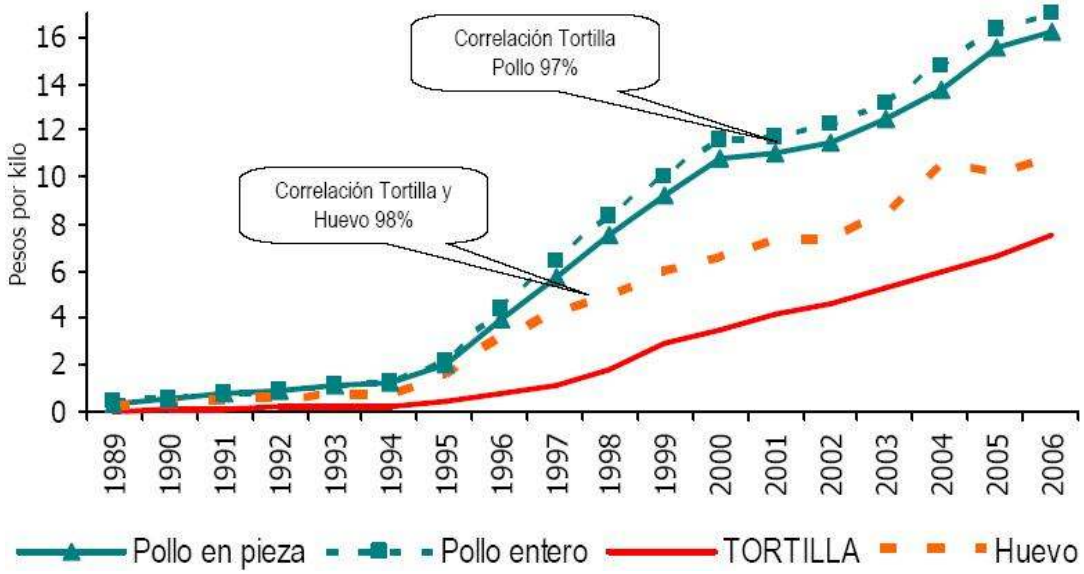
Curiosamente, una disminución en la producción y/o disposición en el mercado internacional de maíz puede también ser benéfica para países con un esquema cada vez mayor de producción, tales como Argentina, Brasil, China y especialmente México, donde las tierras de cultivo mediante técnicas avanzadas de irrigación, principalmente en el estado de Sinaloa, han contribuido a duplicar la producción desde finales de la década de los 80's.

La distancia relativa entre los centros de producción y los centros de consumo es otro factor a considerar, ya que se requerirían subsidios de mercadeo para contrarrestar parte del costo de transporte. En este sentido, una demanda incrementada de maíz para producir etanol por parte de Estados Unidos puede elevar el precio del producto, al punto de poder sobrellevar tales costos.

1.4.1.4. Costo de productos y servicios asociados

Estudios diversos revelan una estrecha correlación entre los productos de la canasta básica con los precios del maíz.

Siendo éste el principal alimento de engorda de ganado, el encarecimiento del mismo llevará inevitablemente a un aumento en el precio de la carne, lo cual puede repercutir poco en países desarrollados, pero mucho en países en vías de desarrollo (Figura 1.19).



Fuente: IMCO, (2006), citado por Newell, (2007)

Figura 1.19 Cambios reales en precios de tortilla, pollo y huevo en México.

1.4.1.5. Maíz como sustituto de otras plantaciones

Otro impacto económico radica en la sustitución de plantaciones: tierras destinadas para dos o más plantaciones pueden convertirse, debido al incremento en demanda, en tierras de plantación única de maíz. Un ejemplo muy recurrente es la siembra de maíz dos años y soya el tercer año, produciendo más maíz que soya, o en la sustitución total de soya por maíz, afectando así el mercado de la soya.

Irónicamente, uno de los principales factores considerados en el apoyo al uso del etanol – costo elevado del petróleo – hace menos atractiva la producción intensiva, puesto que se requiere más fertilizante y pesticida, ambos basados en parte o totalmente en petróleo, neutralizando cualquier ganancia neta que pudiera originarse.

1.4.1.6. Agricultura sustentable

El término agricultura sustentable (*Sustainable agriculture*), establece que se deben satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la habilidad de que generaciones futuras puedan satisfacer las suyas. En este rubro, la producción irresponsable de maíz puede contribuir a un desastre alimenticio, ya que la competitividad obligaría a técnicas que podrían erosionar el suelo en un largo plazo, imposibilitando la reutilización del mismo.

Adicionalmente, se requieren 6 galones de diesel, cerca de 5 galones de gas LP y más de 380 galones de gas natural para tratar un acre (poco menos de media hectárea) y las plantas procesadoras de etanol utilizan grandes cantidades de agua, electricidad y carbón (USDA, 2006).

Como se pudo ver anteriormente, el Doctor David Pimentel critica abiertamente a los defensores del etanol, argumentando que "los productores y administradores de etanol no pueden costear el quemar etanol para producir etanol; los automovilistas de Estados Unidos no podrían pagarlo, tampoco, si no fuera por subsidios gubernamentales."

1.4.2. Impactos al Medio Ambiente (Ciclo de Vida)

La evaluación del ciclo de vida (*Life Cycle Assessment, LCA*) es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el medioambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones medioambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

Para realizar un análisis adecuado, es necesario considerar los siguientes puntos:

1) Creación y/o análisis del inventario del proceso
    a. Cuantificación de la energía y las materias primas requeridas, emisiones, efluentes, residuos sólidos, costos
    b. Balance de materia y energía para cada proceso del sistema
2) Evaluación de los impactos

a. Clasificación, caracterización y asignación de valores a cada impacto, subsistema y al sistema en general

3) Evaluación y recomendación de acciones de mejoramiento

a. Definición y evaluación de acciones para reducir las cargas ambientales del sistema mediante cambios en el diseño del proceso, sustitución de materiales, reciclamiento, etc.

El ciclo de vida del etanol involucra un estudio completo, partiendo con la preparación del suelo y la siembra de la caña de azúcar, para la posterior aplicación de fertilizantes y agroquímicos, culminando con la cosecha de la caña. El costo de generación de vapor y energía eléctrica también es considerado, puesto que es necesario para la producción industrial de alcohol. Las vinazas deben ser debidamente desechadas y el etanol debe ser almacenado, transportado, distribuído, mezclado y utilizado (Figura 1.20).



Fuente: Mena (2007 a).

Figura 1.20 Ciclo de vida del etanol a base de caña de azúcar.

Adicionalmente, se deben considerar los impactos ocasionados por agentes externos asociados con la producción, es decir, los impactos ocasionados por la preparación del suelo (deforestación, construcción de presas, canales, etcétera).

Para la generación de electricidad y elaboración de fertilizantes y agroquímicos, también son requeridas plantas eléctricas y petroquímicas.

Finalmente, para su utilización, puede considerarse la elaboración de piezas especializadas para automóviles, puesto que como el etanol es un alcohol, es por lo tanto corrosivo y puede llegar a dañar piezas de motor que no sean tratadas especialmente para ese fin (Figura 1.21).



Fuente: Mena (2007 b).

Figura 1.21 Ciclo de vida extendido del etanol a base de caña de azúcar.

1.4.2.1. Emisiones de GEI

De acuerdo con esta clasificación, podemos dividir el impacto en 3 rubros fundamentales:

a) Proceso agrícola

El proceso es extensivo e involucra varios factores: Por principio de cuentas, la siembra y cosecha de la materia prima: El proceso de zafra es un alto contribuyente de CO_2, N_2O y CH_4, a la vez que el fertilizante libera N_2O al momento de ser desnitrificado. La oxidación de residuos genera grandes cantidades de CO_2 y CH_4, a la vez que se deben considerar los impactos por concepto de transporte de la caña, fabricación de los agroquímicos, transporte y bombeo del agua y el uso de equipo agrícola.

b) Proceso industrial

Para poder llevar a cabo el proceso, se requiere energía de proceso (combustibles y electricidad), a la vez que hay liberación de CO_2 debido a la fermentación y descomposición de vinazas.

También hay que considerar las emisiones como consecuencia de la producción y transporte de insumos, uso de electricidad en edificios y equipos y también en la elaboración de productos químicos y lubricantes.

c) Distribución y comercialización

Finalmente, se deben considerar el transporte del producto y subproductos, así como las pérdidas por concepto de evaporación, fugas y venteos, como medida de seguridad.

1.4.2.2. Contaminación del aire, agua y suelos

El proceso de elaboración, una vez que se cuenta con las materias primas necesarias, requiere la interacción de grandes cantidades de elementos químicos, tales como los óxidos de nitrógeno y azufre, liberando monóxido de carbono, partículas e hidrocarburos volátiles. Por otra parte, la contaminación del agua se hace evidente debido a la eutroficación[16] y la mezcla de la misma con fertilizantes, pesticidas y herbicidas, así como los residuos de vinazas y residuos agrícolas.

1.4.2.3. Otros impactos ambientales

El proceso requiere grandes superficies agrícolas para ser rentable, lo cual genera una degradación constante y paulatina del suelo, ocasionando la pérdida de calidad del mismo, así como su erosión debida al cambio de uso.

De forma directa, la erosión, el gran consumo de agua y la deforestación de la zona para dedicarla a la agricultura ocasiona pérdida de biodiversidad.

[16] Eutrófico. Se dice de los sistemas naturales, terrestres o acuáticos, con abundantes nutrientes, que en un principio producen alta productividad primaria, misma que agota el oxígeno e induce una escasa eficiencia. Los sitios contaminados son generalmente eutróficos.

Conclusiones

En este capítulo se presentó la información básica referente a biocombustibles y se hizo hincapié en el etanol y en el biodiesel, dos de los biocombustibles más utilizados en la actualidad.

Con respecto al biodiesel, se pudo comprobar una incursión exitosa en su estado B2 ó B20 (2% y 5%, respectivamente) en Europa y áreas rurales de Estados Unidos; sin embargo, un punto que falta considerar –y que se tratará en el capítulo siguiente –, es el aspecto del subsidio que se otorga a los biocombustibles.

Con respecto al etanol, se comprobó que no existe un proceso y materia prima ideal: la eficiencia del proceso depende en gran medida de la materia prima utilizada y ésta a su vez, depende totalmente de la región geográfica en cuestión.

Por otra parte, el análisis realizado demuestra poca reducción en emisiones de GEI, siendo por lo tanto su principal atractivo una disminución en la demanda de petróleo, mas nunca una sustitución total del mismo.

En cuanto al costo indirecto de comercialización, se comprobó que el precio de la carne, la leche, el huevo y productos diversos se encuentran estrechamente correlacionados con el precio del maíz, tanto en México como en países cuya alimentación se basa en éste grano. Una utilización alternativa del grano, como por ejemplo, para producción de etanol, elevaría irremediablemente el costo de tales productos.

Finalmente, queda demostrado que si se pretende desarrollar una economía basada en biocombustibles, es indispensable tener presente el impacto ambiental que representaría una sobreexplotación de la tierra, ya que un tratamiento irresponsable de la misma ocasionaría un retroceso en la agricultura y una utilización excesiva de fertilizante para obtener una gran eficiencia llevaría irremediablemente a la desnitrificación de la misma, tornándola en infértil y, por lo tanto, inservible.

En el siguiente capítulo se realizará un análisis más particular sobre la experiencia internacional en biocombustibles utilizados en el sector automotriz y se estudiarán los

escenarios ocurridos, a modo de poder realizar una prospección sobre el camino más conveniente en términos económicos, ecológicos y sociales.

Capítulo 2

Experiencias Internacionales del uso de Biocombustibles en el Sector Transporte

Introducción

El uso de biocombustibles como fuente de energía primaria no es un tema novedoso, pero debido a las condiciones de mercado actuales, la forma como se comercializa sí lo es. Éstas condiciones de mercado han convertido a los biocombustibles en un fuerte producto de exportación y una significante entrada de divisas para países productores, así como un significativo producto de importación, cuyo arancel es cada vez mayor, para países importadores.

Bajo este esquema, algunos países han optado por desarrollar programas diversos de generación de biocombustibles, como medida preventiva contra el alza en el petróleo.

En términos generales, cada programa debe ser independiente de los demás, pues resulta evidente que un programa que posiblemente funcione para una región determinada, represente la ruina económica para otra, debido a condiciones climáticas, territoriales, laborales, etcétera.

Por esta razón, este capítulo se divide en 3 partes fundamentales. En primera instancia, la metodología estadounidense de producción y utilización.

En la segunda parte, se tratará a fondo la metodología adoptada por Brasil, el principal exportador de etanol en el mundo, así como las condiciones que propiciaron un mercado competitivo y la realidad actual en ese país.

La tercer parte trata sobre la introducción y el uso de biocombustibles en la Comunidad Europea, a modo de tener un panorama más global e integral de la realidad en combustibles alternativos.

2.1. Uso de biocombustibles en Estados Unidos

En este país, se han impulsado recientemente medidas cuya finalidad es disminuir la dependencia del crudo, siendo una de las más viables el uso de maíz para producción de etanol.

2.1.1. Políticas públicas

Como ya se ha comentado, la generación de biocombustibles a partir de maíz es un proceso poco eficiente[17], pero dada la infraestructura existente en Estados Unidos para la siembra y cosecha de maíz, resulta lo más idóneo para ese país.

2.1.1.1. 2007 US Renewable Fuel Standard

a) Descripción

El *US Renewable Fuel Standard* surge como medida diseñada por la EPA[18], responsable de promulgar regulaciones para garantizar que la gasolina vendida en Estados Unidos contenga un volumen mínimo de combustible renovable y cuya puesta en vigor inició en abril del año 2007 (Kodjak, 2007). El programa, también conocido como RFS[19] en Estados Unidos, fue desarrollado en colaboración con refinerías, productores de combustibles renovables y muchos otros *stakeholders*[20].

b) Principales disposiciones

El programa, como su nombre lo indica, busca regular la cantidad de combustible de origen renovable mezclado con aquél de origen fósil. Las áreas reguladas por esta disposición se incluyen en la Tabla 2.1, la cual no es exhaustiva, pues incluye sólo al sector más representativo que es la industria.

[17] Balance energético: 1.5, ver capítulo 1, Tabla 1.4.
[18] *EPA: Environmental Protection Agency.*
[19] *RFS: Renewable Fuel Standard.*
[20] *Stakeholder*: Cada uno de los participantes en el ciclo de vida de un proceso.

Tabla 2.1 Entidades sujetas a regulación de RFS.

Categoría	Código NAICS[21]	Código SIC[22]	Entidad regulada
Industria	324110	2911	Refinerías, petroquímicas
Industria	325193	2869	Manufactureras de alcohol etílico
Industria	325199	2869	Manufactureras diversas (química orgánica)
Industria	424690	5169	Vendedores a granel de productos químicos
Industria	424710	5171	Teminales y estaciones de petróleo crudo
Industria	424720	5172	Vendedores mayoristas de petróleo y derivados
Industria	454319	5989	Otros vendedores de combustibles.

Fuente: US EPA (2007 a).

c) Metas

La meta principal del programa RFS es cumplir con los lineamientos establecidos por el *Energy Policy Act* del 2005, la cual establece, entre otras cosas, un aumento en la cantidad de combustible proveniente de fuentes renovables en la mezcla con gasolina, a modo de disminuir la dependencia del petróleo. Las metas establecidas a corto plazo son muy claras, tal como se expresan a continuación (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 metas del DOE[23].

Año	Miles de millones de galones de Etanol
2007	4.7
2008	5.4
2009	6.1
2010	6.8
2011	7.4
2012	7.5

Fuente: US EPA (2007 b).

El uso incrementado de combustibles renovables tales como el etanol y el biodiesel pueden proveer una expansión en el mercado para productos agrícolas tales como maíz y semillas de soya. Basados en algunos estudios (EPA, 2007), se cree que el uso expandido de combustibles renovables proveerá reducciones en emisiones de CO_2 al ambiente, así como la reducción en la emisión de benceno en el sector transporte; en contraparte, se prevé también un aumento en emisiones tales como óxidos de nitrógeno.

[21] *NAICS: North American Industry Classification System.*
[22] *SIC: Standard Industrial Classification.*
[23] *DOE: Department of Energy*

El problema radica en la forma en como se pretende alcanzar tal meta. El programa RFS no especifica qué tipo de combustible renovable debe ser utilizado, pero es altamente probable que se trate de etanol a base de maíz.

2.1.1.2. US Federal Legislation

a) Descripción

De manera adicional al RFS, el presidente Bush ha propuesto una expansión en las consideraciones a los biocombustibles, a modo de promover diversas fuentes, algunas no tan ambientalmente convenientes y promover una rápida mitigación de dependencia del petróleo extranjero.

b) Principales disposiciones

Las mismas disposiciones del RFS, más la inclusión de combustibles no convencionales, como la inclusión de energía nuclear y fuentes alternativas conocidas como "*coal to liquid*", por ser generadas a base de carbón, muy abundante en Estados Unidos.

c) Metas

La principal meta es el ahorro de petróleo utilizado en gasolina. Se pretende alcanzar una disminución en el uso de gasolina en un 20% para el año 2017, así como incrementar la producción de biocombustibles a 35 mil millones de galones (132,475 millones de litros) para el mismo año (Kodjak, 2007). Otra propuesta, posiblemente más realista, es la de aumentar la producción a 36 mil millones de galones (136,288 millones de litros) para el año 2022. Ésta propuesta fue enviada en mayo del año 2007 y se encuentra actualmente en revisión.

El problema de este programa radica en la consideración ambiental. En la búsqueda por reducir la dependencia de petróleo, se amplía la gama de "biocombustibles", haciendo

elegibles a combustibles que no lo son. Por esta razón, el factor ambiental está siendo desestimado, lo cual entra en contradicción con las demás políticas energéticas.

2.1.1.3. California Low Carbon Fuel Standard (LCFS)

a) Descripción

Esta propuesta pretende desarrollar un sistema de monitoreo a los diversos combustibles, a modo de realizar un análisis del ciclo de vida de los mismos. Ha sido autorizada por el gobernador de California, Arnold Schwarzenegger, pretendiendo un enfoque distinto al propuesto por George Bush.

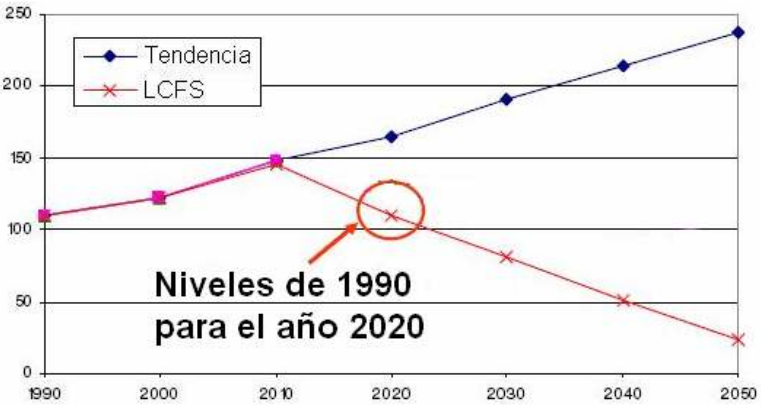
b) Principales disposiciones

Puesta en marcha desde el año de 2007, obliga al CARB[24] a desarrollar regulaciones y un sistema de reporte obligatorio diseñado para dar seguimiento y monitorear emisiones de calentamiento global, a modo de asegurarse que no haya incrementos de contaminación en comunidades locales, proteger entidades que hayan reducido ya sus contaminantes y coordinarse con otros estados y países para reducir emisiones. Adicionalmente, se ordena a refinadores, productores, mezcladores e importadores de biocombustibles, a crear la infraestructura necesaria para comercializar el producto.

c) Metas

La principal meta es reducir en 10% la cantidad de GEI[25] liberados a la atmósfera, basados en un estudio completo de ciclo de vida, a modo de alcanzar niveles de emisiones equivalentes a 1990 para el año 2020 (Figura 2.1).

[24] *CARB: California Air Resources Board*
[25] GEI. Gases de Efecto Invernadero.



Fuente: Kodjak (2007)

Figura 2.1 Proyección esperada por la LCFS

Aplicable a cualquier combustible utilizado en el transporte, cuenta con la posibilidad de analizar, en tiempo real, su desempeño debido al ciclo de vida, desmotivando el uso de combustibles basados en carbón y beneficiando con créditos más amplios a tecnologías más limpias; por ejemplo, se favorece al biodiesel obtenido a base de grasa por encima del etanol obtenido con plantas procesadoras a base de carbón, lo cual paulatinamente generaría la infraestructura necesaria para su correcto desarrollo (Figura 2.2)



Fuente: www.google.com

Figura 2.2 Bomba de reabastecimiento acondicionada en California.

2.1.1.4. Energy Policy Act 2005

a) Descripción

Firmado por el presidente George Bush el día 8 de agosto del año 2005, se encuentra destinado a combatir los problemas energéticos actuales mediante un detallado programa basado en incentivos fiscales y exenciones de impuestos, préstamos garantizados para hacer crecer el sector y facilidades para incursionar en la producción de energía de varios tipos.

b) Principales disposiciones

El alcance [26] de este documento es enorme, sin embargo en esta sección se tratará exclusivamente lo concerniente a energía de tipo renovable.

1) Se autorizan garantías de préstamo para "tecnologías innovadoras", incluyendo energía renovable.
2) Incrementa de manera proporcional la cantidad de biocombustible (usualmente etanol) que debe ser mezclado con gasolina vendida en Estados Unidos, hasta el año 2012, de acuerdo con la Tabla 2.2, mostrada en la página anterior.
3) Autoriza subsidios para energía eólica y demás productores de energías alternativas.
4) Autoriza un patrocinio de $50 millones de dólares anuales durante la duración del *Energy Bill* para un programa energético basado en biomasa.
5) Requiere que los vehículos de flota federal capaces de operar con combustibles alternativos sean operados exclusivamente con estos combustibles.

c) Metas

La meta principal de esta disposición es, como se dijo anteriormente, hacer frente a los problemas energéticos actuales mediante un detallado programa basado en incentivos fiscales (Tabla 2.3).

[26] Apoyo mayoritario a la industria nuclear y tecnologías *coal to liquid*, así como exploración en yacimientos petrolíferos nacionales.

Tabla 2.3 Subsidios otorgados según la *Energy Policy Act*, para cada tipo de tecnología.

Tecnología	Cantidad (miles de millones $USD)
Energía nuclear	$4.3
Producción de energía fósil	$2.8
Extensión de créditos para producción eléctrica de fuentes renovables	$2.7
Incentivos para inversión en industria de *clean coal*	$1.6
Conservación y eficiencia energética	$1.3
Combustibles alternativos y automóviles (etanol, metano, gas LP, propano)	$1.3

Fuente: NEI (2005), DOE.

Una gran crítica que ha recibido esta medida, es su ineficiencia en el combate real de los GEI. Salvo la energía nuclear, el petróleo, como el carbón - *commodity*[27] muy abundante en Estados Unidos - "no puede ser limpio" (Flannery, 2007) por definición, ya que los contaminantes no son eliminados, sino simplemente cambian de orden en el ciclo de vida.

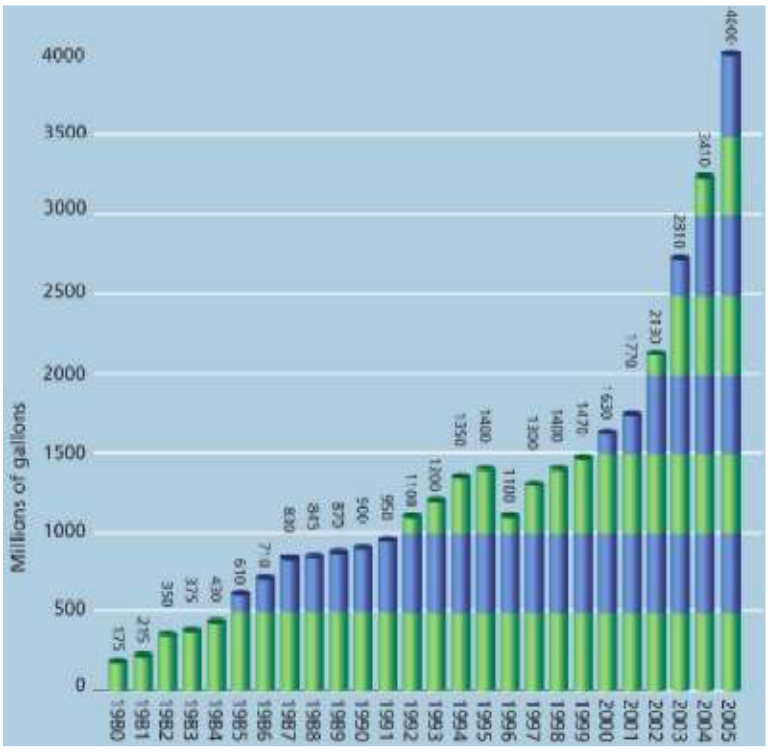
2.1.1.5. Subsidios

Otro aspecto fundamental para el desarrollo de tecnologías basadas en fuentes renovables ha sido la integración de subsidios. En este sentido, el más importante es el *Federal tax credit*, iniciado en 1978 y otorgado a productores y comercializadores de gasolina mezclada con etanol. El subsidio equivale a 51 centavos de dólar por cada galón de etanol utilizado.

2.1.2. Capacidad de producción

Como se mencionó anteriormente, el maíz no posee mucho contenido energético[28], pero Estados Unidos posee la infraestructura agrícola necesaria para procesar el producto, con más del 40% de todo el maíz del mundo siendo cosechado en este país. Por esa razón, la capacidad de producción de etanol se duplicó en tan sólo 4 años, pasando de poco más de 2,000 millones de galones en 2001, a 4,000 millones en 2005 (Figura 2.3).

[27] *Commodity*: Aquello que puede ser fácilmente negociado, físicamente enviado y almacenado por un periodo razonable.
[28] Capítulo 1, Tabla 1.1



Fuente: RFA (2006 b)

Figura 2.3 Capacidad productiva de Etanol en EUA

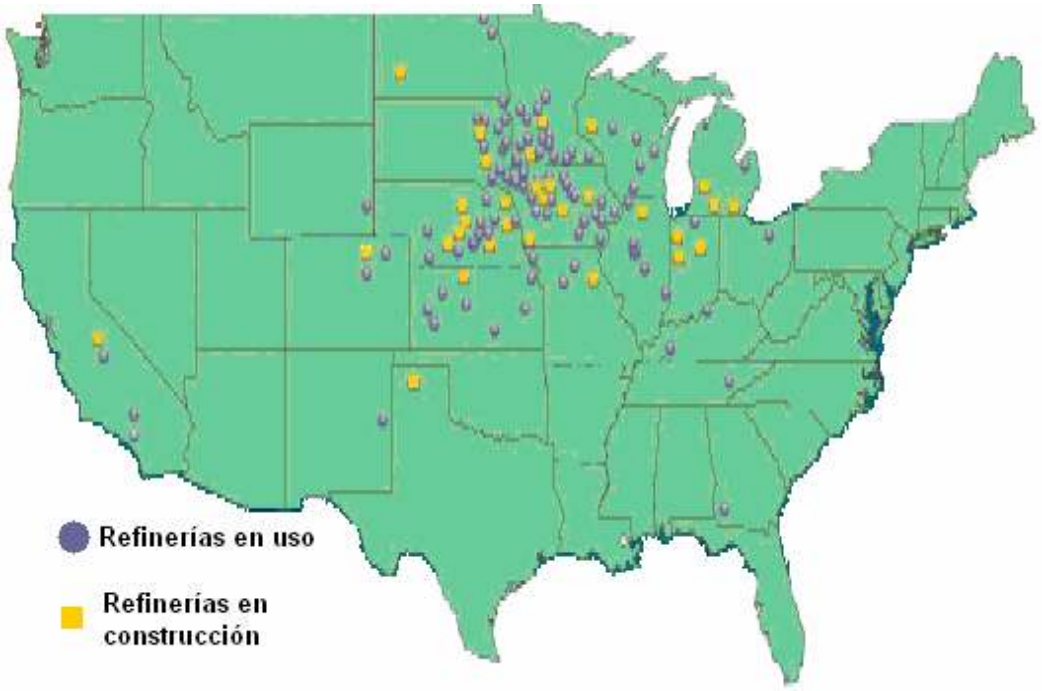
Para febrero del año 2006, era ya de 4,400 millones de galones (16,654 millones de litros). Con la puesta en funcionamiento de las plantas actualmente en construcción, se piensa añadir 2,200 millones de galones (8,327 millones de litros) adicionales, por lo que si la tendencia se mantiene - que es lo más probable dada la gran cantidad de incentivos -, se prevé una cifra récord de 7,000 millones de galones (26,495 millones de litros) para el año 2010 (USDA, 2006).

2.1.2.1. Plantas

En 2006, Estados Unidos contaba con 110 biorefinerías, con capacidad para procesar 45.8 millones de toneladas de granos por año, produciendo 346 mil barriles diarios de etanol. 73 nuevas biorefinerías se tienen contempladas para el año 2009, que añadidas a las 8 en proceso de expansión, poseen en total una capacidad de procesamiento de 51.8 millones de granos (Labastida, 2007).

2.1.3. Demanda

Si bien en el año 2006 la producción fue superior a la demanda, para aumentar paulatinamente de 4,800 millones de galones (18,168 millones de litros) a 7,500 millones de galones (28,387 millones de litros) para el año 2012, se requiere una producción sin precedente, por lo que será necesario adicionar al menos 225 millones de acres (91 millones 54 mil 269 hectáreas) para producción de etanol celulósico, asumiendo que tales plantaciones generen al menos las 4 toneladas por acre (9.9 ton/ha) que se obtienen actualmente del maíz (Figura 2.4).



Fuente: RFA (2006)

Figura 2.4 Áreas asociadas con el mercado del etanol.

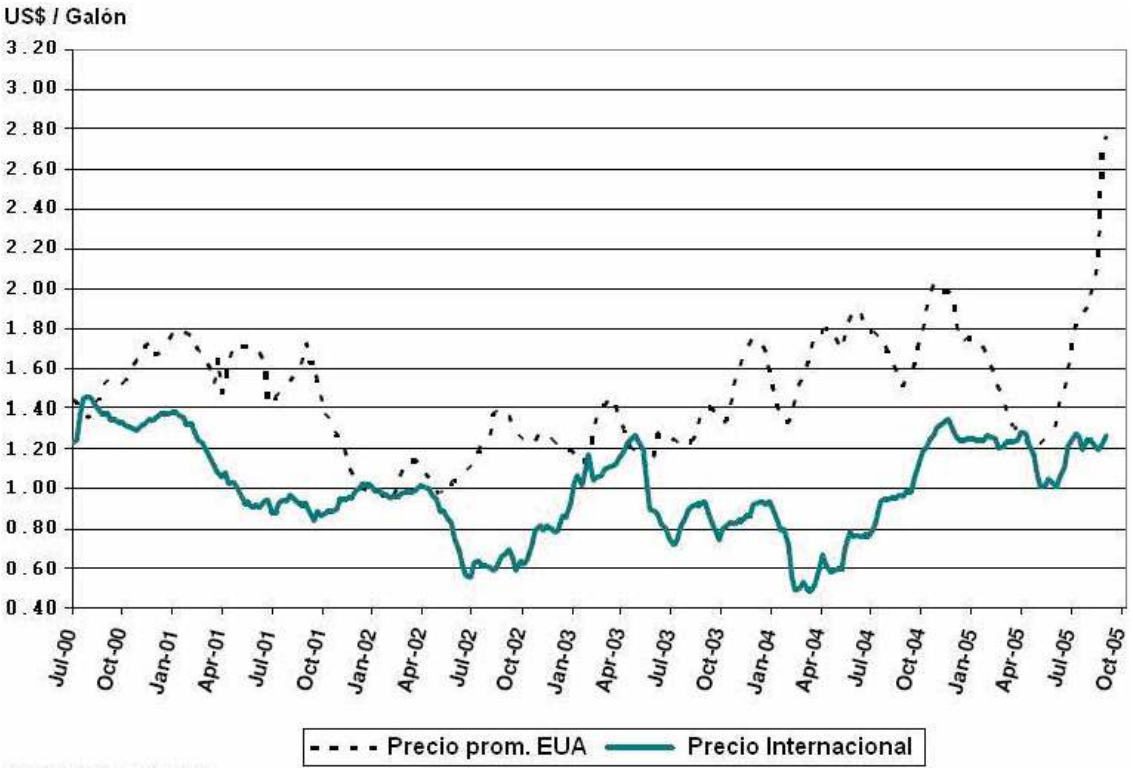
En 2005 se utilizaron 1,430 millones de *bushels* de maíz, lo que equivale al 13% de la producción en Estados Unidos, así como un 15% adicional de la producción de sorgo, solamente para la producción de Etanol, convirtiéndolo en el 3er mercado más grande para el maíz, a la vez que se produjeron 9 millones de toneladas métricas de DDGS[29].

[29] DDGS, *Distiller's Dried Grains with Solubles.*

De acuerdo con datos oficiales, se registró un beneficio económico por $32,200 millones de dólares por concepto de *gross output*[30], a la vez que se crearon 153,725 empleos directos en todos los sectores económicos y una reducción en la importación de 170 millones de barriles de petróleo, lo cual representa un ahorro de $8,700 millones de dólares (RFA, 2005).

2.1.3.1. Total

La realidad energética actual obliga a EUA a importar gran cantidad de etanol, mayoritariamente de Brasil, aun a pesar de contar con un elevado arancel de importación. Lo anterior ha contribuido a un precio particularmente elevado del energético en ese país, con respecto al precio mundial (Figura 2.5).

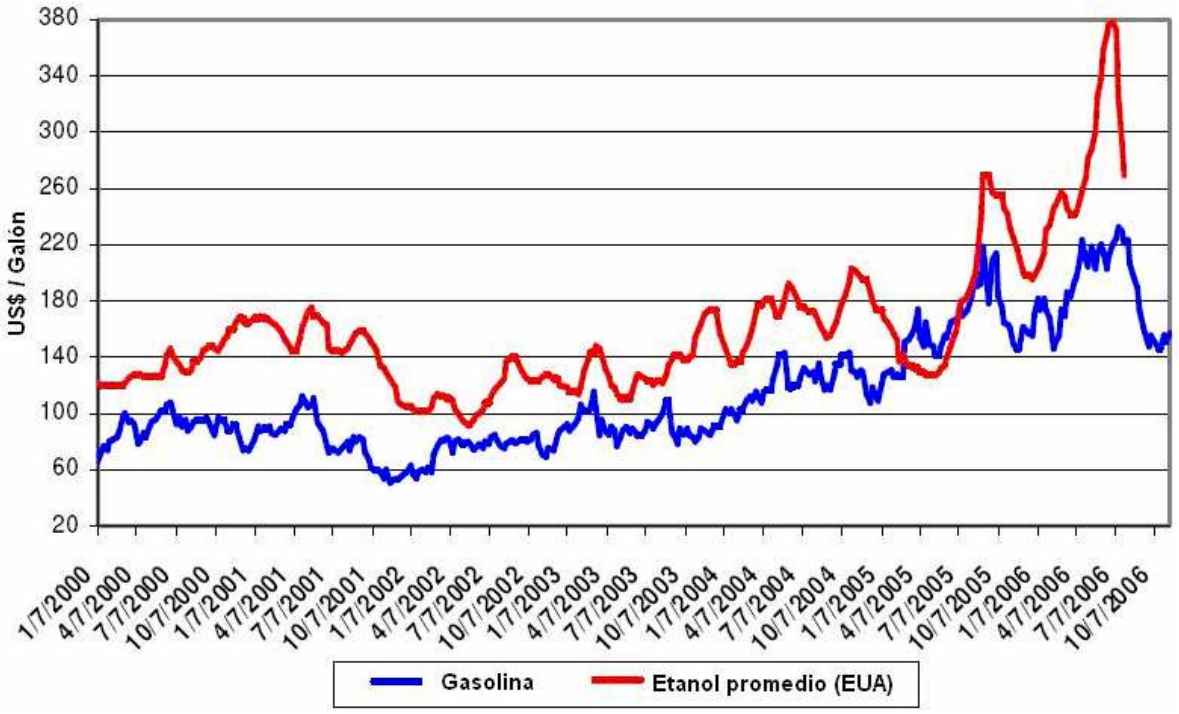


Fuente: F.O. Licht, citado por Trindade (2007)

Figura 2.5. Precio mundial de etanol vs precio en Estados Unidos.

[30] *Gross Output*: Valor total de ventas de una empresa en un periodo (en este caso, 2005), sin sustraer el gasto que representa la utilización de productos intermedios en su producción o manejo.

Una de las interrogantes en Estados Unidos, será el modo de integración definitiva del etanol al sector transporte. En el año 2005, el precio de un galón de gasolina fue de $2.20 dólares (con precios de menudeo cercanos a los $3.00 dólares/galón). Para que el uso de etanol sea económicamente competitivo, éste debería haber tenido un valor inferior a $1.50 dólares por galón; sin embargo, para mayo de 2006, el precio del etanol se había incrementado a $2.65 dólares/galón, lo cual equivale a $3.16 dólares/galón si se consideran los 51 centavos de subsidio. En los estados productores de etanol, como Illinois, el precio fue de $3.10 dólares/galón en julio de 2006, mientras que en California el precio fue de hasta $4.00 dólares/galón. Si se considera el subsidio y el menor índice energético, se estaría pagando en California más de $6.00 dólares por el etanol equivalente en energía a un galón de gasolina (Figura 2.6).



Fuente: Sergio Trindade (2007)

Figura 2.6 Precio de etanol vs precio de gasolina en Estados Unidos.

2.2. Uso de biocombustibles en Brasil

Brasil ocupa el primer lugar en producción, utilización y exportación de etanol en el mundo. A diferencia de Estados Unidos, donde el energético se comercializa por encima de $1.50 dólares/galón, en Brasil se encuentra disponible a aproximadamente $1.00 dólar/galón.

2.2.1. Políticas públicas

Tras el embargo petrolero de 1973, el precio del crudo se cuadruplicó. Siendo Brasil un país con una importación de 80% en crudo, se vio obligado a buscar soluciones alternativas al mismo.

Por esta razón, en 1975 se ordenó que toda la gasolina del país fuese mezclada con al menos 10% de etanol, cifra que aumentaría de forma constante hasta un máximo de 25% para 1980, disminuyendo el consumo directo de gasolina. Para ayudar a acelerar el crecimiento, el gobierno otorgó créditos a plantas productoras de etanol, lo cual motivó a varios productores a incursionar en este nuevo mercado.

De manera simultánea a la investigación en etanol, el gobierno brasileño contrató a Ernesto Stumpf, investigador e inventor brasileño, para desarrollar un automóvil capaz de funcionar únicamente a base de etanol y para finales de 1976 se contaba ya con algunos modelos.

2.2.1.1. Programa Pró-Álcool

El programa fue creado en 1975, pero fue reforzado en 1979, tras una segunda crisis petrolera que motivó a acelerar aún más el proceso, dando luz verde a todo aquello relacionado con el mismo. La finalidad del programa fue disminuir el uso de petróleo en favor del etanol.

a) Descripción

Basado en subsidios a productores y en colaboración directa con Petrobrás (Compañía paraestatal), se desarrolló un esquema de ciclo completo que incorporaba producción, distribución y manejo de desechos.

El desarrollo del programa Pró-Álcool puede verse en 5 fases cronológicas:

- 1975 a 1979. Fase inicial.

En esta primera fase, se centró el esfuerzo en producir alcohol anhidro (etanol) para su mezcla con gasolina. Los subsidios fueron sustanciosos por lo que la producción creció rápidamente de 600 millones del litros por año hasta 3,400 millones de litros para finales de la década.

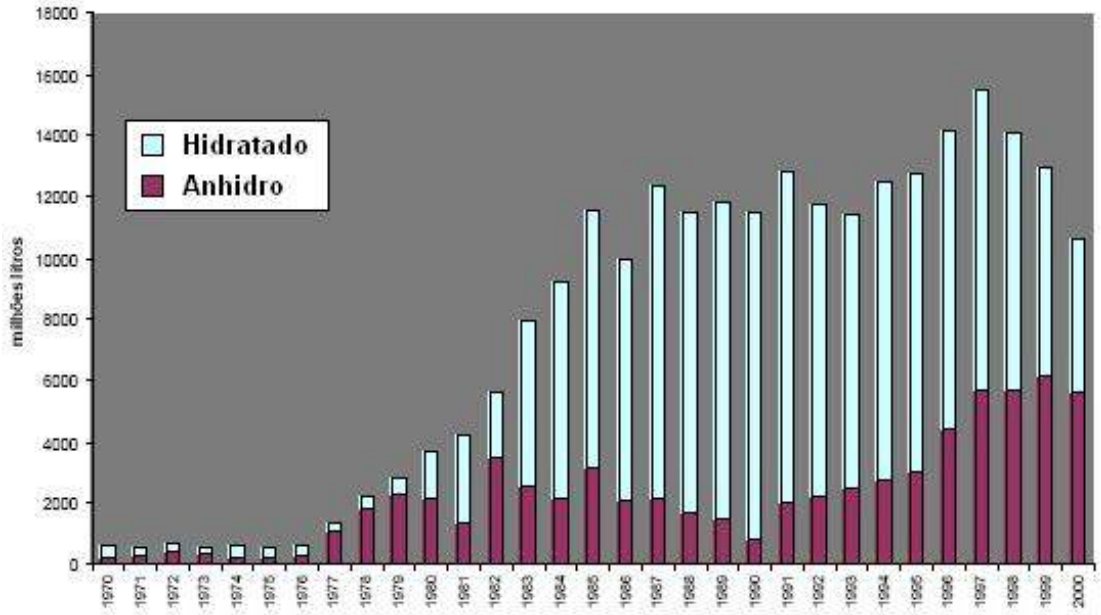
De manera simultánea, se impulsó un programa de adaptación de vehículos a modo de hacerlos compatibles con el nuevo combustible.

- 1980 a 1986. Fase de estabilización.

Con la llegada de la segunda crisis petrolera, el precio del crudo se triplicó, con lo que para 1980 los gastos de gobierno por concepto de importación representaban el 46% tan sólo en petróleo.

Por esta razón, el gobierno decidió adoptar medidas para una completa implementación del programa, creando organismos como el CNAL[31] y la CENAL[32] para agilizar el programa. Bajo este esquema, la producción de etanol alcanzó un máximo de 12,300 millones de litros para finales de 1986 – principios de 1987 (Figura 2.7), superando en 15% la meta inicial de 10,700 millones de barriles para finales del mismo período.

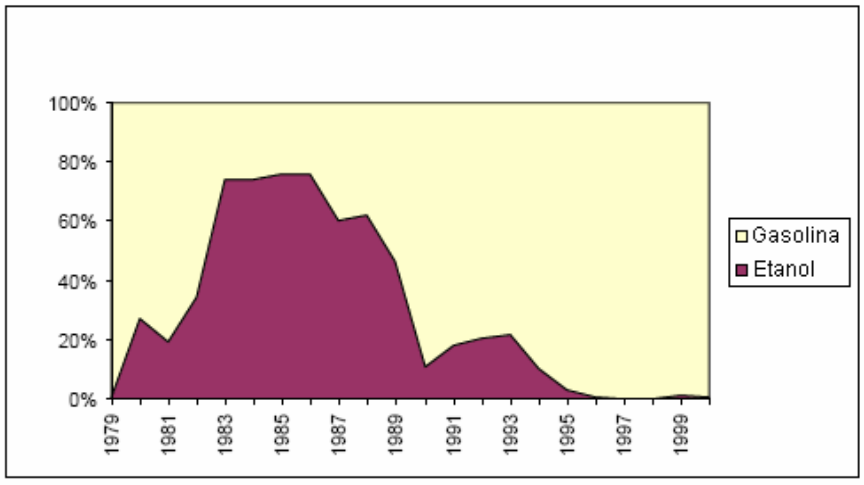
[31] *CNAL: Conselho Nacional do Álcool*
[32] *CENAL: Comissão Executiva Nacional do Álcool*



Fuente: BEN (2001, 1990, 1986)

Figura 2.7 Producción de etanol en Brasil durante el programa Pró-Álcool[33]

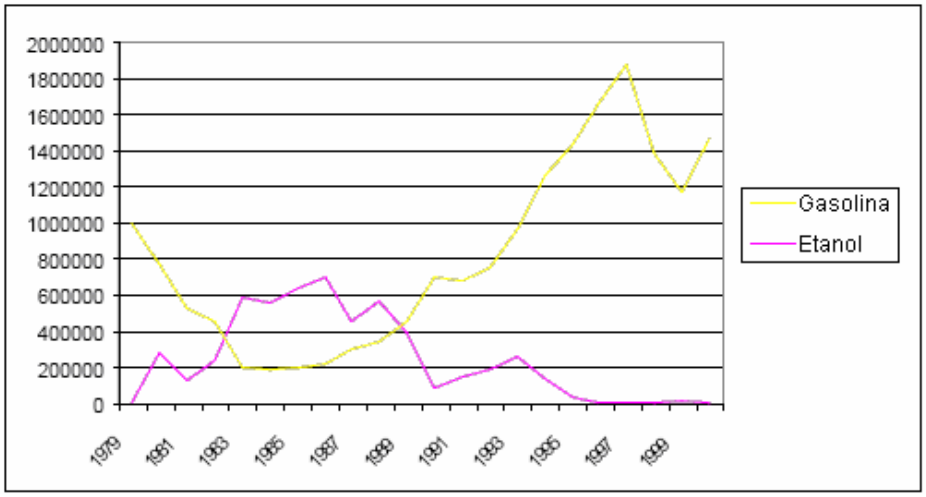
Durante este periodo, la proporción de automóviles a base de etanol con respecto a los de combustible convencional aumentó de 0.46% en 1979 a 26.8% en 1980, alcanzando un máximo de 76.1% en 1986 (Figuras 2.8y 2.9)



Fuente: ANFAVEA (2001)

Figura 2.8 Porcentaje de automóviles adaptados para etanol vs auntomóviles a gasolina.

[33] Anhidro: Etanol puro. Éste es el que se combina con gasolina para formar gasolina tipo C (en Brasil)
Hidratado: Etanol con hasta 9% de agua. Éste es el conocido como E100 y no debe mezclarse con gasolina, pues generaría una división de fases y una combustión deficiente.



Fuente: ANFAVEA (2001)

Figura 2.9 Producción de automóviles adaptados para etanol vs automóviles a gasolina.

- 1986 a 1995. Fase de estancamiento.

A partir de 1986, el escenario internacional del mercado petrolero es incierto. Los precios del petróleo bajan estrepitosamente de $30, $40 dólares por barril a un nivel de $12 a $20 por barril. Este nuevo periodo, denominado "contra-ataque" petrolero, coloca en jaque los programas de sustitución de hidrocarburos fósiles y replantea el concepto de uso eficiente de energía en todo el mundo.

La repercusión se hizo sentir hasta el año de 1988, ya que, coincidiendo con un periodo de escasez de recursos públicos, fue evidente un decremento en el volumen de inversión a proyectos de producción interna de energía. De esta manera, la oferta de etanol no puede suministrar la descompensada demanda creciente y los bajos precios pagados a productores de etanol no incitan el resurgimiento.

Por otro lado, la demanda de etanol en automóviles continuó siendo elevada, debido al incentivo que otorgaba el gobierno al representar menos impuesto el tener un vehículo a base de etanol. Esa combinación de desestímulo a la producción pero estímulo en utilización, llevó a una crisis de abastecimiento para 1989.

En este periodo, también se desincentivó la producción de azúcar, la cual tenía sus precios fijados por el gobierno en esa época, por lo que la producción no sólo registró un

crecimiento nulo, sino que, por el contrario, decreció, pasando de 7.8 millones de toneladas en 1986 a 7.3 millones de toneladas en 1990. El sector más afectado, fue la exportación, pues pasó de 1.9 millones de toneladas a 1.1 millones de toneladas para 1990.

Este escenario, que duró varios años, desmotivó enormemente la inversión en etanol para los automóviles, la cual terminó a principios de 1990 con la liberación en importación de vehículos automotores en Brasil y no quedó otra opción más que recurrir nuevamente a la gasolina convencional[34].

A pesar de su carácter efímero, la crisis de abastecimiento de etanol tuvo fuertes repercusiones en el programa *pró álcool*, la cual en conjunto con la reducción paulatina de estímulo sobre su uso, propició que en los años siguientes se tuviera un significante decremento en la demanda y como consecuencia, las ventas de automóviles a base de etanol disminuyeron drásticamente (Figura 2.8).

La crisis sólo pudo ser superada con la introducción de un nuevo combustible, denominado MEG (60% etanol, 34% metanol y 6% gasolina), que lo sustituyó con igual desempeño, pero traería consigo una nueva crisis: debido a la gran demanda, fue necesario importar etanol y metanol, que en el periodo 1989-1995 superaba ya los 1,000 millones de litros. Con esto se logró mantener vivo el programa, pero con la mezcla rica en metanol, era cuestión de tiempo para evidenciar los problemas ambientales y de salud pública que surgirían más tarde.

- 1995 a 2000. Fase de redefinición

Tras la crisis, hubo que hacer la siguiente pregunta: ¿Los mercados de etanol como combustible, tanto anhidro como hidratado, se encuentran libres de subsidios, en todas sus fases: Producción, distribución y venta al consumidor final?

La exportación de azúcar en Brasil aumentó estrepitosamente, de cerca de 1.1 millones de toneladas en 1990 a casi 10 millones de toneladas por año, dominando el mercado mundial

[34] Los vehículos foráneos, producidos sin la adecuación necesaria, funcionaban exclusivamente con gasolina o diesel, por lo que eran incompatibles con etanol

y abaratando el producto. La clave está en la gestión y es que en Brasil, sin presencia gubernamental, existen mecanismos de regulación para todos sus productos: azúcar para el mercado interno, azúcar para el mercado externo, etanol para el mercado interno y etanol para el mercado externo. Dadas las externalidades positivas de utilizar al etanol como instrumento para dirigir políticas para el sector sucroalcoholero, fue creado en 1997, por medio de decreto, el CIMA[35]

- Fase actual

Treinta años después de la introducción del programa, Brasil vive ahora una nueva expansión, con el objetivo de ofrecer, en gran escala, combustible alternativo y los plantíos crecen fuera de zonas tradicionales, expandiéndose al noreste.

La aceptación por parte de los consumidores de la tecnología *flex-fuel*[36], ha sido mayor que la anticipada por ANFAVEA[37], aumentando su participación en el mercado de 49.5% del total de vehículos vendidos cada mes en el año 2005 a 86% del mercado en 2007 (ANFAVEA, 2005 y 2007).

Tras la convicción de que el etanol tendrá una presencia cada vez mayor en Brasil y en el mundo, el gobierno está reestructurando el programa, tal como lo hizo en la década de los 70's, pero en esta ocasión apoyado mayoritariamente por el sector privado.

b) Principales disposiciones

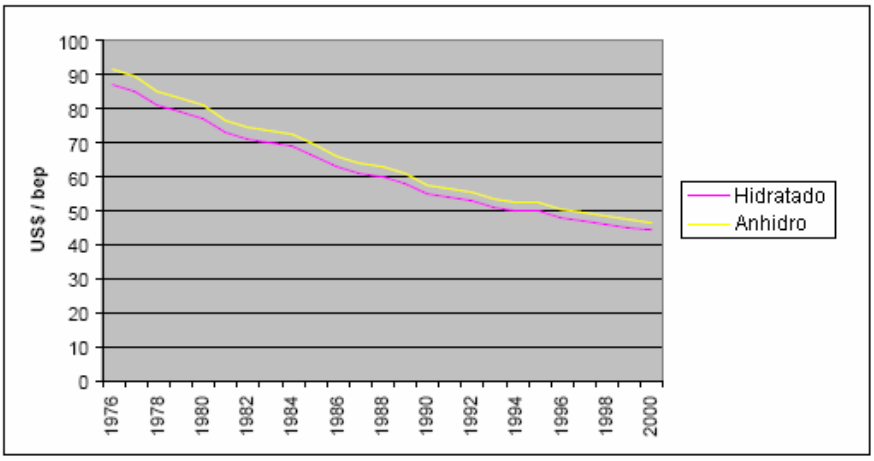
El programa, a lo largo de sus más de 30 años de funcionamiento, ha regulado el mercado de manera directa a través de Petrobrás, invirtiendo en infraestructura para el almacenamiento, distribución y establecimiento de puntos de venta de etanol en todo Brasil. De manera indirecta, mediante la creación de órganos como el CNAL, CENAL y CIMA.

[35] *CIMA: Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool*
[36] *Flex-fuel (vehicle)*: Autotransporte que puede utilizar indistintamente cualquier graduación de etanol mezclado con gasolina.
[37] ANFAVEA: *Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.*

Actualmente, el programa regula en pequeña medida lo referente a siembra y cosecha en terrenos nuevos para su desarrollo, como el noreste de Brasil, pero ya no regula directamente el mercado del etanol, puesto que se han retirado los subsidios.

c) Metas

Las metas del programa consistían en generar una fuente alternativa (local) de energía para contrarrestar los incrementos en petróleo, creando un programa nacional a largo plazo subsidiado en un principio, sostenido en una política fiscal que fuera a la par con la curva de aprendizaje de la producción, para finalmente establecer un precio competitivo sin necesidad de más subsidios (Figura 2.10).



Fuente: ANFAVEA (2001)

Figura 2.10 Costo de producción de etanol en Brasil.

Por otra parte, se ha buscado desarrollar e implementar tecnología aplicable a automóviles para asimilar dicho combustible. Esa meta se logró, durante casi 25 años, hasta que la producción se detuvo por cuestiones competitivas con los precios de la gasolina. Sin embrago, la introducción de autotransporte *flex-fuel* en 2003 reemplazó el vacío dejado en este rubro, con excelentes resultados.

El programa fue incluso más allá de sus propios alcances, consolidando tanto el mercado azucarero como el de etanol brasileño, como el más productivo y competitivo del mundo, estableciendo precios históricamente rentables en el mercado.

2.2.1.2. Subsidios

La iniciación del programa de Pró-álcool fue con un conjunto de medidas promocionales, incluyendo subsidios y tasas de interés preferenciales, estimándose en $5,200 millones de dólares. Las líneas de crédito para inversiones en destilerías autónomas o anexas financiaban hasta el 80% del proyecto, con plazos de hasta 12 años y tasas de interés reales negativas (Cerro, 2006).

Adicionalmente, el gobierno brasileño adoptó un esquema proteccionista que ha ocasionado disgustos en aras de una sana competencia en el sector (MERCOSUR), más particularmente con Argentina. Medidas tales como la fijación de un alto arancel a productos de importación, en conjunto con un subsidio estimado en 1,100 millones de Reales ($574 millones de dólares) al alcohol hidratado, un subsidio por litro abonado de la cuenta FUP[38] y concesiones especiales a ciertas regiones, como Rio Grande do Sul, donde el uso de MTBE[39] estaba permitido, han sido tema constante de debate.

El argumento ecológico ha sido utilizado para justificar los altos costos del programa, ya que de acuerdo con los países asociados al MERCOSUR, tales como Argentina y, particularmente, Venezuela, éste surgió mucho tiempo después del argumento económico.

Los subsidios otorgados por el gobierno, como parte del plan expansionista en el país, se podrían catalogar en explícitos e implícitos:

Los subsidios explícitos incluyen el subsidio directo al alcohol hidratado, por $1,100 millones de Reales, o $574 millones de dólares, para mantener precios competitivos. Subsidio a la caña en el nor-noreste: $5.0734 reales, $2.65 dólares, por tonelada métrica[40],

[38] FUP: Frente de Uniformización de Precios.
[39] MTBE. Metil Tert Butil Éter. Oxigenante utilizado en gasolinas.
[40] Anteriormente, con el sistema de igualación de precios, el precio de la caña era 35% más elevado

para compensar costos de transporte a zonas de procesamiento. Subsidio directo a taxis que utilicen alcohol, así como a la 'flota verde' del gobierno (5% de la demanda de alcohol). Contribuciones para estados subsidiados y otros subsidios. Para compensar la caña que se dedicaba a la producción de azúcar, las fábricas del nor-noreste estaban eximidas de impuestos sobre la venta.

Los subsidios implícitos contemplan la existencia de la cuenta FUP, de la cual se extrae un subsidio recurrente y cuantificable y de acuerdo con datos de la OMC [41] y datos proporcionados por la propia industria brasileña, el nivel de los subsidios entre 1992 y 1997 fue de entre $1,500 y $3,450 millones de dólares. Como dato adicional, el monto del subsidio es mayor al valor de la producción azucarera de cualquier país de América Latina, exceptuando Brasil, para el cual este monto representa entre el 45% y el 60% del valor de la producción.

A finales de 1995 se convocó a un comité interministerial a reevaluar el programa, concluyendo que la razón principal del mismo había desaparecido al haber cambiado el panorama petrolero mundial. La sobreproducción de etanol llevó por ende a un abaratamiento de precios, afectando y obligando a un corte en subsidios para frenar el desarrollo y evitar una crisis azucarera.

Con el resurgimiento del interés global en biocombustibles y dadas las enormes cantidades en inversión extranjera, junto con visitas del presidente de Estados Unidos a Brasil[42], es de esperarse un resurgimiento en el programa, con una muy probable política de acaparamiento de *stock* y subsidios multimillonarios.

2.2.2. Capacidad de producción

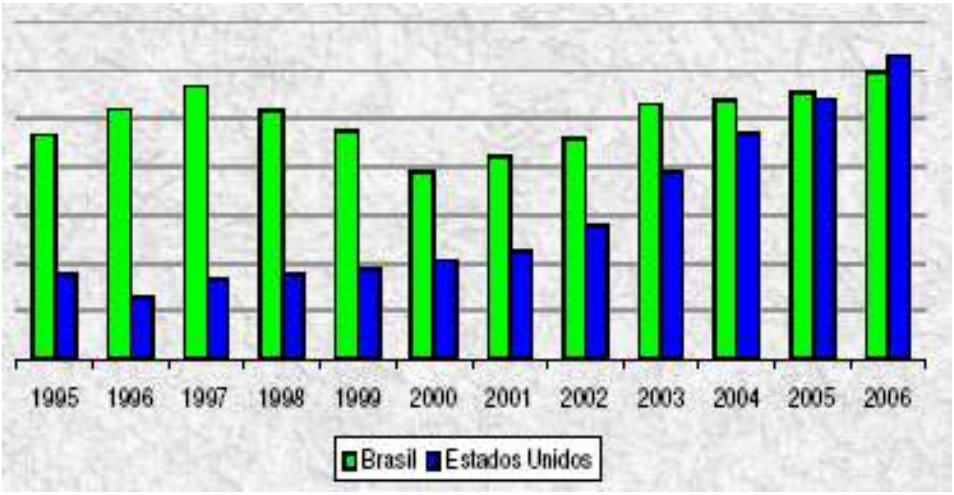
Como se puede apreciar en la Figura 2.8, durante el periodo 1997-2000, la producción de etanol sufrió una baja considerable, pasando de 15,399.4 millones de litros a aproximadamente 11 mil millones de litros. Este descenso en la producción fue producto de

[41] OMC: Organización Mundial de Comercio
[42] Estados Unidos es el segundo productor de etanol en el mundo.

la desconfianza generada tras el período de desabasto de etanol, pero las plantas siguieron presentes.

A partir de ese año, la producción fue retomada y de ahí registró una nueva alza. Para el periodo 2001/2002, la producción se incrementó a 11,536 millones. Para el correspondiente al 2002/2003 era ya de 13,623 millones. Para el año 2003/2004, 14808 millones. En 2004/2005, se alcanzó un total de 15,413 millones de litros producidos y finalmente en el periodo 2005/2006, impulsado por la necesidad de Estados Unidos de importación de Etanol, ascendió a 15,935 millones.

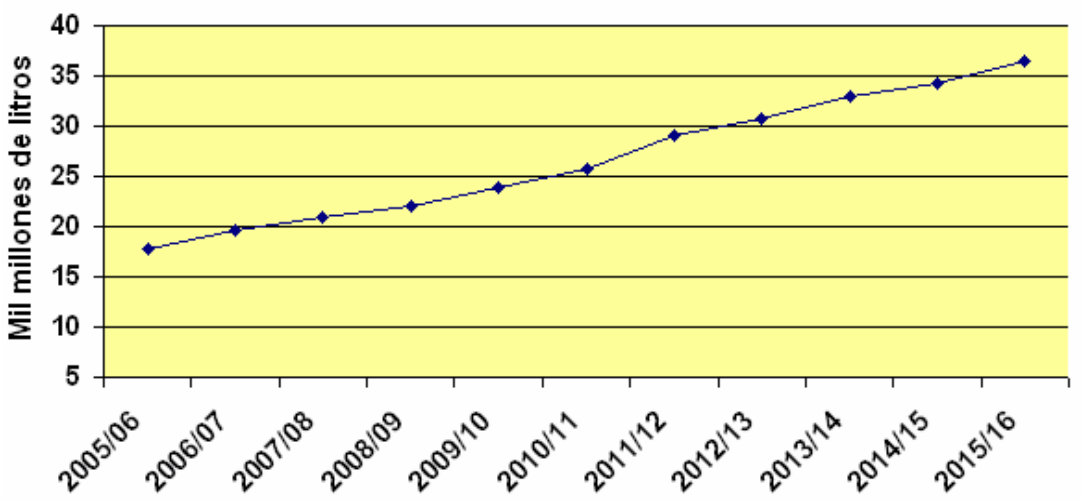
En el año 2005, la producción en Estados Unidos crecía exponencialmente, mientras que la brasileña registraba altibajos. Con una producción brasileña de 16,654 millones de litros contra una estadounidense de 15,935 en la zafra 2005/2006, para el año 2006 Brasil perdió su hegemonía (Figura 2.11).



Fuente: British Petroleum (2006), citado por Labastida (2007)

Figura 2.11 Producción de Etanol de los dos principales productores del mundo.

Para 2006/2007, se pronostica que la producción de etanol en Brasil llegue a una cifra de 17,050 millones de litros (EXAME, 2007) y de cumplirse los pronósticos augurados por la industria y los inversionistas extranjeros, esa cantidad puede aumentar a poco más de 35 mil millones de litros para la zafra 2015/2016 (Figura 2.12).



Fuente: Alves (2007)

Figura 2.12 Proyección de aumento en producción en Brasil.

2.2.2.1. Plantas

A marzo de 2007, Brasil contaba con 336 *usinas*[43], construidas a lo largo del país (NS Agrodiario, 2007). El ambicioso programa de expansión busca aumentar esa cantidad a 409 al final de la zafra 2012/2013, lo cual representaría construir, en promedio, una *usina* de alcohol y azúcar por mes hasta ese año, para lo cual se requerirá una inversión cercana a los $14,600 millones de dólares.

Además de las 73 *usinas* próximas a construirse, existen otras 189 en trámites, tanto para la construcción como para la expansión de unidades, de las cuales el 40% son de capital extranjero, lo cual hace énfasis en el interés que se tiene sobre el tema.

2.2.3. Demanda

Para un país exportador de energéticos como Brasil y sobre todo, con una política de uso obligado de etanol en conjunto con gasolina, es muy importante cuidar el mercado interno, a modo de realizar un balance entre el producto destinado al consumo local y el destinado a exportación.

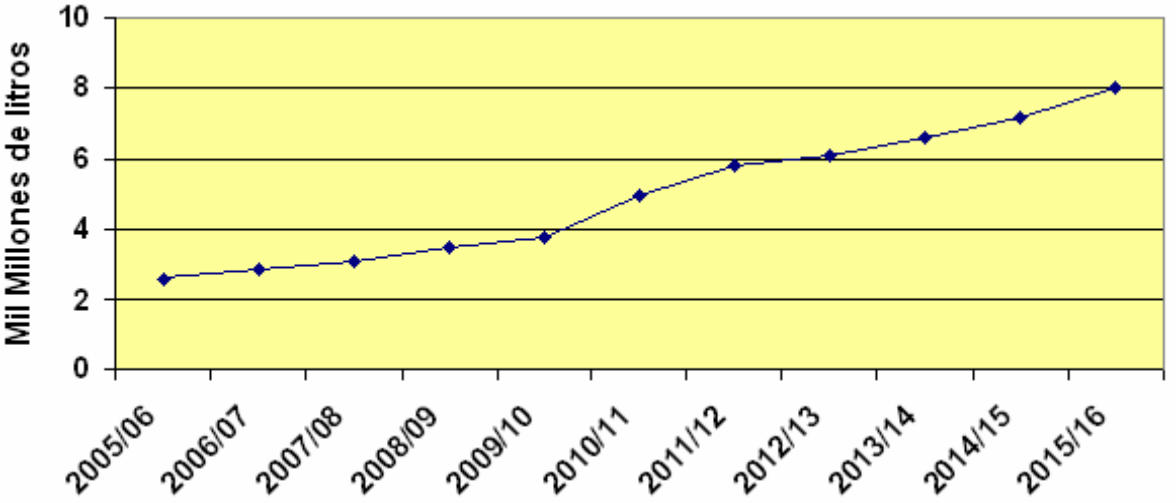
[43] *Usinas:* Fábricas y destilerías, englobadas.

Estados Unidos, con un consumo petrolero *per capita* 6 veces mayor que Brasil, ha impulsado en gran medida la venta de etanol, la cual generó en Brasil una ganancia de $600 millones de dólares en 2005 por concepto de exportación.

2.2.3.1. Total

En el año 2005, Brasil produjo 15,200 millones de litros de etanol, de los cuales más del 75% se destinó al mercado local (12,800 millones de litros). Para el año 2006, la razón aumentó ligeramente, produciendo 16,000 millones de litros y destinando 13,500 para el mercado local, lo cual corresponde a un 84.3%.

Debido al protocolo de Kyoto, con validez hasta el año 2012, muchos países primer mundistas[44] se ven obligados a adquirir etanol para desplazar gasolina y reducir de esa manera la cantidad de CO_2 emitido al medio ambiente (Figura 2.13).



Fuente: Alves (2007)

Figura 2.13 Proyección de aumento en exportación en Brasil.

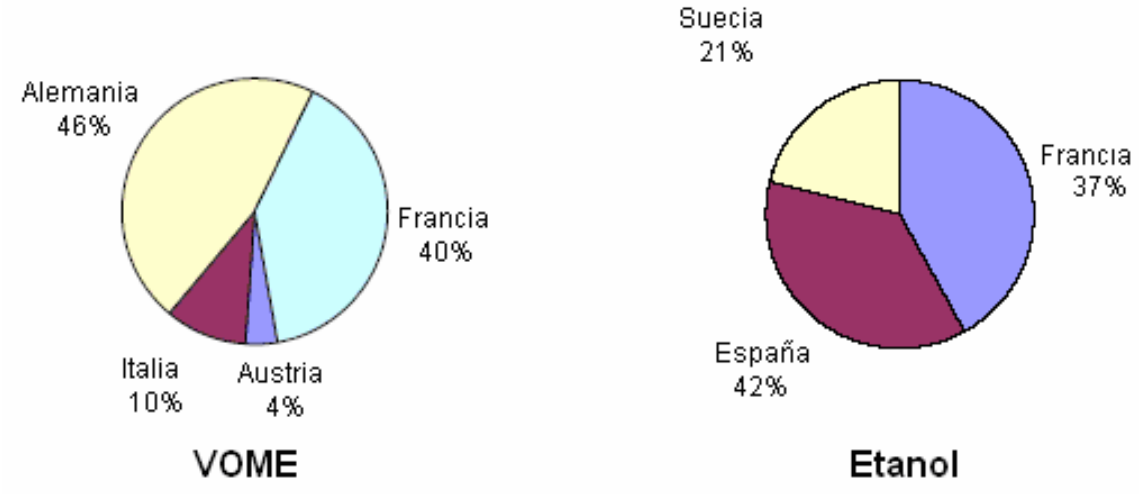
[44] Adicionalmente a estos países, se consideran también países con un desarrollo acelerado.

2.3. Uso de biocombustibles en la Comunidad Europea

La historia de biocombustibles en Europa data de finales de 1970, para compensar problemas relacionados con el petróleo, pero el verdadero desarrollo en el sector data de aproximadamente 12 años atrás. De manera semejante a lo ocurrido en el continente americano, el tema cobra vida nuevamente debido a presiones gubernamentales y ambientalistas.

En la actualidad, los países productores de biocombustibles en la comunidad europea sólo comparten una pequeña porción del mercado global de biocombustibles, aproximadamente un 6% (Van Thuijl, 2003). Esto es debido a que la producción global de biocombustibles se centra en etanol, para el cual los principales productores se encuentran del otro lado del mundo. Europa, sin embargo, es el productor más importante de biodiesel en el mundo. En casi una década, la producción de biodiesel se incrementó de 80 mil toneladas en 1993, a 780 mil toneladas en el año 2001.

La producción de VOME[45] la encabeza Alemania, a la vez que la producción de Etanol es encabezada por España. Francia es el segundo productor europeo de ambos productos (Figura 2.14).



Fuente: Van Thuijl (2003)

Figura 2.14 Principales países productores de VOME y Etanol.

[45] *VOME: Vegetable Oil Methyl Ester*. Es el éster resultante de la transesterificación de aceites vegetales, el cual es un tipo de Biodiesel.

2.3.1. Políticas públicas

Como se dijo anteriormente, cada país adoptó su propia política, al menos en un principio, pues en vísperas de la integración de la comunidad europea a principios del siglo XXI, se buscó una homologación a modo de fomentar una sana competencia. Esto benefició a muchos países, como Alemania, quien incrementó su producción de VOME, pero afectó a otros, como Francia, la cual vio limitada su capacidad de producción.

En este sentido, se emitieron varias propuestas, de las cuales surgieron 2 principales: el *White Paper* y el *Green Paper*. El primero, titulado *'Energy for the Future: Renewable Sources of Energy'*, data del año 1997 y su principal prioridad consistía en encontrar métodos para reducir drásticamente los costos de producción de los biocombustibles. Esto llevaría a un ambicioso programa de subsidios en toda la comunidad, fomentando programas piloto en distintas regiones. Aún a pesar de procurar fomentar igualdad en todos los estados miembros, con el paso del tiempo resultó evidente que existían desigualdades en el sector y el programa era muy limitante.

La segunda propuesta, *green paper*, titulada *'Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply'*, data del año 2000 y hace énfasis en la importancia de garantizar la oferta de biocombustibles en el sector. Al contar con una demanda creciente, la utilización de biocombustibles es altamente promovida. Ventajas relacionadas con la emisión de GEI –entre 40 y 80% menos según la CE- , medio ambiente local –menos partículas y monóxido de carbono - y aspectos sociales –creación de empleo en áreas rurales - , son sólo algunos de los argumentos en pro del uso de biocombustibles.

Otra directiva de este documento establece que la legislación actual no permite garantizar una oferta de energético, al contar con una política restrictiva en la producción: la exención de impuestos sólo está permitida a programas piloto, insuficientes para satisfacer tal demanda.

La discusión sobre el uso de biocombustibles tanto en el *white paper* como en el *green paper* no llevó a un desarrollo concreto en políticas específicas en la mayoría de los estados miembros de la comunidad; sin embargo, sí resultó en 2 directivas en junio del año 2001 en

la promoción de biocombustibles. La primer directiva obliga a los estados miembros a vender una cierta cantidad de biocombustible para consumo local en el periodo 2005 – 2010. Para poder realizar esto, la segunda directiva provee a dichos estados la oportunidad de ajustar su sistema de supresión de impuestos para combustibles automotores en favor de los biocombustibles.

2.3.1.1. Políticas comunes de la CE

a) Descripción

Cada país es libre de ejercer las medidas que desee en favor de los biocombustibles; sin embargo, existe un número de puntos que se deben cumplir como parte de la comunidad europea.

b) Principales disposiciones

La directiva europea 98/70/EC, relacionada a la calidad del combustible automotriz, autoriza la venta sin restricciones de gasolina que contenga como máximo 5% etanol o 15% ETBE[46], así como combustible diesel con un contenido máximo de 5% VOME[47]. Los niveles de concentración más elevados son perfectamente compatibles con los motores actuales, pero en ese caso es necesario informar al usuario.

La directiva europea 2003/30/EC promueve los biocombustibles mediante el establecimiento de metas a corto, mediano y largo plazo. De acuerdo con el último reporte, en 2004, los biocombustibles debían tener una presencia de al menos 2% para el año 2005, incrementando 0.75% de manera gradual hasta llegar a una meta de 5.75% para el año 2010 (Tabla 2.4), siendo obligación de todos los miembros de la CE mantener un reporte de logros y medidas implementadas para llevar a cabo tales metas.

[46] ETBE: Etil Tert Butil Éter. Oxigenante similar al MTBE.
[47] *VOME: Vegetable Oil Methyl Ester*.

Tabla 2.4 Incremento esperado de biocombustibles en la CE.

Año	Porcentaje
2005	2.0%
2006	2.75%
2007	3.5%
2008	4.25%
2009	5.0%
2010	5.75%

Fuente: Van Thuijl (2003)

La directiva europea 2003/96/EC trata sobre impuestos y concede a los estados miembros la libertad de gestionar el otorgamiento de subsidios parciales o totales dependiendo de cada proyecto de desarrollo, siendo su único requisito el cumplir con la norma anterior de integración en el mercado. Mediante un organismo, denominado CAP[48], se regula la política ambiental.

c) Metas

Las metas comunes de la CE son:

Integración, gestión y autosuficiencia de un mercado de biocombustibles en todos los estados y en todas sus etapas de ciclo de vida. Dado que el tratamiento que se de a los residuos orgánicos y subproductos resultantes del proceso juega un papel importante en las políticas públicas, es poco probable que la comunidad europea importe biocombustibles de otras regiones.

Promover la investigación en tecnología de combustibles a fin de proporcionar al menos 4 alternativas a la gasolina, con una inmersión en el mercado de al menos 5% para el año 2020. Las tecnologías propuestas se listan a continuación (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Fuentes alternativas de energía al año 2020 en la CE.

Año	Biocombustible	Gas Natural	Hidrógeno	Total
2005	2%			2%
2010	6%	2%		8%
2015	7%	5%	2%	14%
2020	8%	10%	5%	23%

Fuente: Van Thuijl (2003).

[48] *CAP: Common Agricultural Policy.*

Reemplazar, para el año 2020, 20% del petróleo utilizado en la elaboración de energéticos.

Promover una campaña de información a consumidores, a fin de elevar el grado de conciencia y estado del programa en el ciudadano común.

2.3.1.2. Políticas de los principales productores de la CE

En esta sección se discutirá un poco la política particular de Francia, Alemania y España, a modo de resaltar las principales coincidencias y diferencias y su participación respecto del resto de la comunidad europea.

a) Descripción

Francia, uno de los países líderes en la producción de VOME y etanol, no ha tenido un avance significativo en el campo de los biocombustibles, debido a protestas por parte del comité europeo debido a su forma de producción.

El programa de biocombustibles en ese país corre a cargo de la ADEME[49], la cual otorga una exención de 100% en impuesto en biodiesel y 80% en etanol.

En Alemania, la carencia de una ley específica referente a biocombustibles, cuyo rubro legislativo más cercano está contenido en la llamada *'Mineralölsteuergesetz'*, regula el petróleo y sus derivados. Esta legislación es indirecta, puesto que el alcohol y los aceites vegetales, materia prima del etanol y biodiesel, respectivamente, no son aceites minerales.

En España, la política referente a los biocombustibles está regida por una parte nacional y una regional. En la política nacional, existen los dos órganos ICO-IDAE[50], que trabajando en conjunto, destacan medidas que garantizan una deducción estatal a inversiones realizadas con la finalidad de promover fuentes alternativas de energía, así como la

[49] *ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie.*
[50] ICO-IDAE: Instituto de Crédito Oficial – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

existencia de 'decretos reales', que son normas que regulan la tasa aplicable a dichas inversiones.

b) Principales disposiciones

Para poder gozar de la exención de impuesto mencionada, el gobierno francés establece dos condiciones: el biocombustible debe ser exclusivamente para consumo nacional sin sobrepasar un máximo establecido, el cual fue fijado en 317,500 toneladas métricas en el año 2000. La producción en Francia en el año 2002 fue de 365,000 toneladas métricas, por lo que el excedente fue exportado, o utilizado en la industria química, sin subsidio. Para fines del año 2003, el máximo autorizado ascendió 70,000 toneladas, estableciéndose en 387,500, lo cual redujo su crecimiento exponencial y permitió que Alemania lo superara en producción.

Alemania, al no contar con una restricción en su tasa de producción, tuvo un crecimiento acelerado. La única referencia a los biocombustibles en la denominada *Mineralölsteuergesetz* radica en el hecho que los combustibles a base de alcohol o aceite vegetal con una mezcla de hasta 3% de hidrocarburo están exento de impuesto. En este rubro, cabe destacar que en Alemania el uso de B100 es muy común, por lo que una gran parte de los combustibles estarían, teóricamente, exentos de impuesto.

España, por su parte, cuida celosamente su producción, mediante una serie de normativas, órganos y decretos: ICO-IDAE y los decretos reales 1165/95 y 615/1998, destacan el método a seguir para una exención de impuestos.

c) Metas

Las metas de la CE en ocasiones distan ligeramente de las propuestas por cada integrante. Francia, por ejemplo, sufre un déficit de diesel y un superávit de gasolina, por lo que limitar la producción de biocombustibles en ese país no ayuda en nada al mercado local. La producción de etanol no va a disminuir, lo cual desplaza biodiesel de ser procesado.

Alemania, por el contrario, posee un exceso de biodiesel. Con la reciente caída de precios en materia prima, es muy probable que los nuevos países afiliados, como la República Checa, puedan incrementar rápidamente su producción, abaratando el producto al punto en que ya no sea rentable desarrollar más biodiesel.

De la misma manera, España comanda un ambicioso programa de aumento de infraestructura, lo cual hace pensar que, si bien la meta de cada país debería ser la autosuficiencia, esto no será posible, pues la comunidad misma saturará el mercado y cuando todos los países tengan la misma infraestructura –sana competencia- , en ese momento el biodiesel será tan barato que simplemente será más rentable dedicarse a otras plantaciones.

2.3.1.3. Subsidios

Para VOME:

En Francia, se otorgaba un subsidio de €350/m^3 para combustibles mezclados con VOME, hasta 5% en estaciones de servicio y hasta 30% en flotas cautivas. Adicionalmente, la cantidad máxima autorizada de producción aumentó en 70,000 unidades, a partir del año 2004 y pasó así de 317,500 a 387,500 toneladas por año, a la vez que el subsidio descendió a €330/m^3.

En Alemania, se otorga un incentivo de €470/m^3, el cual ya incluye una exención al impuesto sobre carbono y es aplicable solamente a combustible B100 (aproximadamente 1500 estaciones de servicio). Dado que en la actualidad Alemania cuenta con un exceso de producto, es muy probable que se maneje una reducción de impuesto a combustible B5 y B30, pero por el momento sólo es aplicable a B100.

Alemania y Francia otorgan un crédito adicional de €45 por concepto de bono de carbono por hectárea, si la plantación es para fines de elaboración de biocombustibles.

Italia sólo otorga exenciones de impuesto a B5 y B30, el cual es el equivalente a €403/m^3. Para transporte público, existe un límite de 300,000 toneladas por año. Adicionalmente,

B100 está completamente libre de impuesto si se utiliza como energético para calentar aceite.

En Austria se otorga un incentivo de €290/m^3 a mezclas B100 hasta un máximo de 2%.

España no impone tasa alguna a la utilización de VOME, lo cual representa un ahorro de €294/m^3.

Suecia cuenta con una exención de impuesto a VOME equivalente a €344/m^3; sin embargo, el país enfoca sus esfuerzos en diferentes biocombustibles, como por ejemplo etanol *ex wood* y *synfuels*[51] obtenidos de la gasificación de la madera.

Para Etanol:

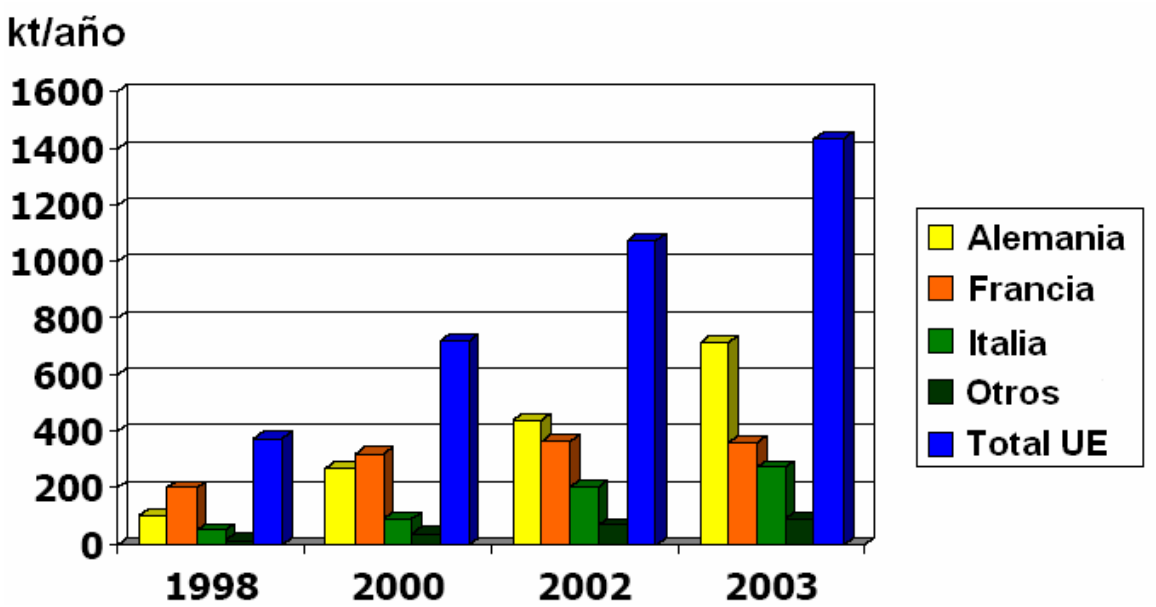
La exención de impuesto en Francia se redujo a €380/m^3 en 2002, anteriormente era de €502.3/m^3. Alemania otorga un subsidio de €654/m^3, al a vez que España hace lo mismo con el etanol que con el biodiesel, con ahorros para el consumidor equivalentes a €390/m^3. En Suecia, el subsidio es de €520/m^3, con la posibilidad de ser revisado anualmente.

El CAP otorga un subsidio adicional por granja, monitoreado constantemente para garantizar más calidad y menos cantidad. Para ello, es necesario cumplir cabalmente con los requerimientos ambientales y de salud pública y la cantidad de subsidio será computada de acuerdo con una base histórica.

2.3.2. Capacidad de producción

La capacidad productiva de VOME en Europa incrementó considerablemente en la última década, pasando de poco menos de 400 mil toneladas al año hasta más de un millón 400 mil toneladas para finales del año 2003, registrando un crecimiento promedio de 35% anual (Figura 2.15).

[51] *Synfuel: Synthetic Fuel.* Se le conoce como *synfuel* a los combustibles BTL, o *biomass-to-lyquid*, también llamados de segunda generación. El proceso consiste en utilizar toda la planta, en lugar de parte de ella, suponiendo una obtención mucho mayor de energía.

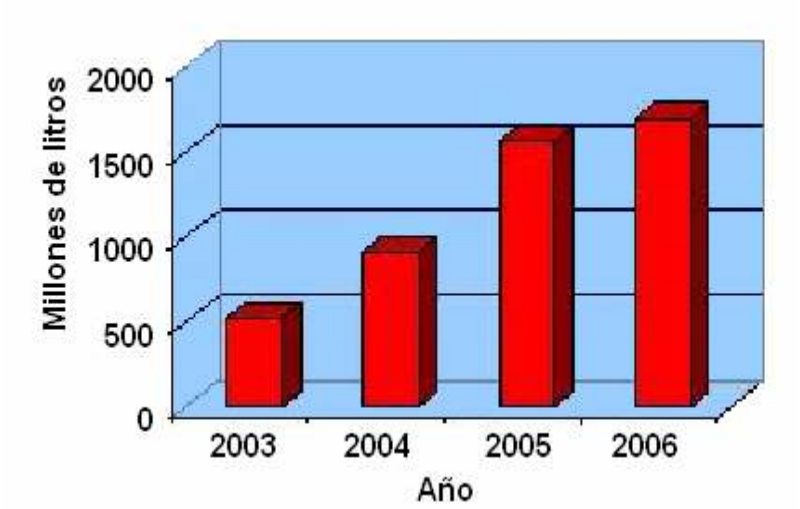


Fuente: EBB (2004), citado por Garofalo (2004)

Figura 2.15 Producción de biodiesel en la CE.

Alemania encabezó la producción europea de etanol en 2006, con 431 millones de litros, lo cual representó el 25.3% del total europeo. España, por su parte, registró una producción de 402 millones de litros en ese mismo año, lo cual equivale a 23.6% del total.

Estos dos países, en conjunto, produjeron el 49% del mercado europeo de etanol, cuya producción en 2006 fue de 1,700 millones de litros (Figura 2.16).

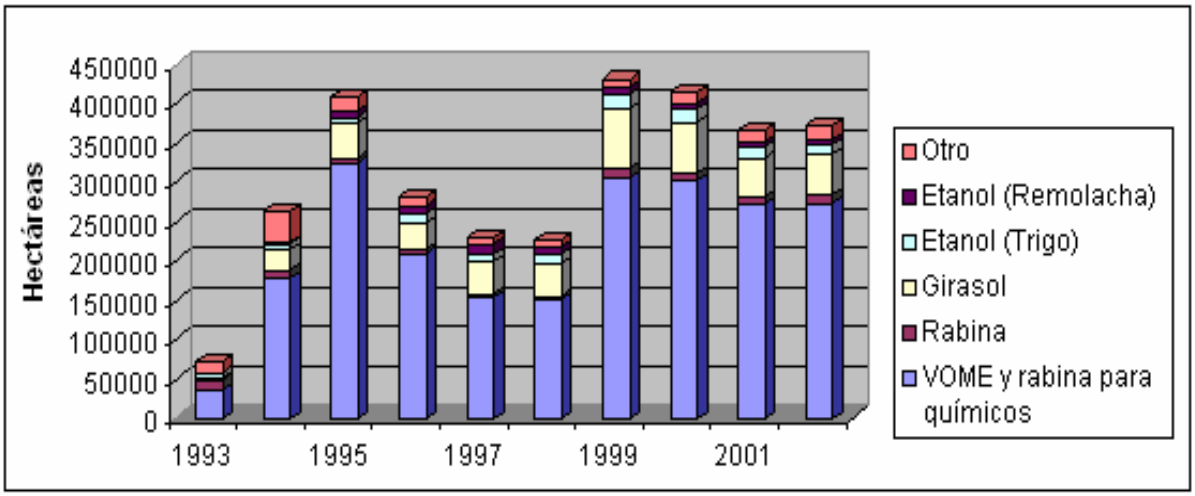


Fuente: EBIO (2006), citado por Calles (2007)

Figura 2.16 Producción de etanol en la CE.

La producción en Francia tiene un diseño particular, puesto que todas las plantaciones con fines energéticos – rabina para biodiesel, remolacha y trigo para bioetanol – son cultivadas en *set aside land*, tierra especialmente 'separada' para uso exclusivo, administrado por el CAP y el cual es aproximadamente el 10% de toda la tierra cultivable (Figura 2.17).

En 1999, cerca de un millón y medio de hectáreas fueron separadas y aproximadamente el 20% fue utilizada para producir biocombustibles.



Fuente: Hénard, M. (2003)

Figura 2.17 Distribución de plantaciones con fines no alimenticios en Francia

2.3.2.1. Plantas

En España, se cuenta con 3 plantas en operación: Ecocarburantes Españoles, en Cartagena, con una capacidad de producción de 150 millones de litros; Bioetanol Galicia, en Galicia, con una capacidad de producción de 176 millones de litros; y Biocarburantes Castilla y León, en Salamanca, con una capacidad de producción de 195 millones de litros.

Juntas, poseen una capacidad de producción de 521 millones de litros y se prevé una ampliación a fin de aumentar la capacidad en 5 millones más (EBIO, 2007)

Francia posee dos plantas de biodiesel, pertenecientes a la compañía 'Diester Industrie'. Una está localizada en Grand Couronne, Normandía, con una capacidad de producción

anual de 250,000 toneladas métricas[52], de las cuales 180,500 toneladas están dentro de la norma francesa de subsidios y la segunda planta se localiza en Venette, al norte de París, con una producción aprobada de 60,000 toneladas.

Adicionalmente, Francia posee otras dos plantas autorizadas por el gobierno para producir biodiesel. Una está localizada en Verdun, al este de Francia, con un acuerdo para producir 33,500 toneladas métricas, administrada por la compañía Novaol. La segunda está localizada en Boussens, al sudoeste de Francia, con una producción de 33,000 toneladas, perteneciente a grupo Cognis.

En julio del año 2003, Ecogras y Sud Recuperation, compañías dedicadas a la recolección de aceite de cocina usado, firmaron un tratado estipulando que 1,200 toneladas de aceite de rabina –aceite de cocina usado en *McDonald's France* – sean suplidos a Novaol, subsidiaria de Bunge en Italia, para ser convertidos en Biodiesel. El biodiesel producido sería luego exportado a Italia para ser utilizado como combustible (GAIN, 2003).

Alemania, por su parte, está en proceso de expansión: El gigante transnacional agricultor Cargill tiene contemplada la construcción de una planta capaz de producir 200,000 toneladas de biodiesel al año, a la vez que ADM[53] se encuentra en la construcción de su tercer planta de biodiesel en el país, con capacidad de producción de 275,000 toneladas y EOP [54] biodiesel, por su parte, con una producción de 132,500 toneladas, puesta en funcionamiento a principios de 2007 (EF, 2006).

2.3.3. Demanda

Del total producido en 2006, unos 1,700 millones de litros de etanol y más de 1,400,000 toneladas métricas de biodiesel, el 90% del etanol fue producido y utilizado en el continente Europeo –Suecia importa casi todo su etanol de Brasil- y Alemania es responsable de casi la mitad de la producción de Biodiesel –no sin sufrir altibajos- . Europa siempre se ha caracterizado por preferir el uso de diesel sobre la gasolina, por lo que suena

[52] A diferencia del etanol, El Biodiesel se cuantifica en toneladas métricas.
[53] *ADM: Archer Daniels Midland*
[54] *EOP: European Oil Products*

lógico que exista un gran mercado para este producto y una producción menor en etanol. El panorama actual, sin embargo, está cambiando radicalmente: En la actualidad, existe un desabasto de diesel y un exceso de gasolina. Curiosamente, Alemania no puede vender su excedente por ser este incompatible al estar en estado puro y a la vez padece de precios muy bajos en etanol debido al exceso de producto.

2.3.3.1. Total

El desarrollo de biocombustibles y las políticas de subsidio para favorecer granos y otras plantaciones propicias para el desarrollo de etanol y biodiesel, han tenido un desenlace catastrófico en Alemania: Los granjeros, motivados por el subsidio, han abandonado cultivos como la cebada, para dedicarse al cultivo de *rapeseed*[55], o maíz.

La poca oferta en cebada – ingrediente principal de la cerveza - , ha ocasionado precios elevados en el producto: en tan sólo 2 años -2005 a 2007-, el precio por tonelada de cebada aumentó de €102 a €200. Esto ha desatado un efecto dominó similar al ocurrido con el maíz y la tortilla, puesto que en Alemania la cerveza es considerada parte de la dieta diaria y se espera un precio accesible por ella.

Por otra parte, el reciente retiro del subsidio al centeno lo ha convertido en una plantación muy poco redituable, pues por el momento existe una gran oferta y poca demanda. Las plantas y refinerías ven esta situación como una oportunidad, pero ofrecen precios muy por debajo del esperado: el precio normal de una tonelada de centeno es €90 y en zonas de excesiva oferta, como el este de Alemania, llegan a €76. Informes recientes corroboran que el precio actual ha disminuido a €70 y en ocasiones hasta €65 la tonelada.

De acuerdo con los analistas, un precio de compra inferior a €70 la tonelada no justifica el cultivo de centeno, sin embargo, siendo la Comunidad Europa una región con un mercado libre de aranceles, es muy probable que las compañías puedan conseguir centeno –o cualquier otra materia prima- en diversas regiones, como la República Checa o Hungría, donde el costo de producción es mucho menor.

[55] *Rapeseed*: rabina

Conclusiones

El desarrollo de biocombustibles para fines de transporte puede comprenderse mejor estudiando las tres regiones más representantes en cuanto a producción y uso de los mismos., las cuales corresponden a Estados Unidos, Brasil y la Comunidad Europea.

La infraestructura productiva de maíz en Estados Unidos, sumada a la necesidad de generación autosuficiente de energía, ha propiciado un crecimiento exponencial en la explotación del mismo como materia prima para producción de etanol en ese país. Siendo el segundo país con la mayor participación en el mercado global del maíz (sólo después de China), es de esperarse que la decisión tomada tenga una repercusión global.

Como quedó comprobado anteriormente, estudios diversos dan al maíz un balance neto energético promedio de 1.5, a diferencia de 8 de la caña de azúcar[56], lo cual pone en evidencia el poco interés ecológico en el tema. El *Energy Policy Act* establece un subsidio claramente favorable a tecnologías cuya materia prima proviene de fuentes no renovables, tales como carbón, combustibles nucleares o petróleo y sus derivados.

La disposición oficial en EUA promovió una política de generar una demanda "a priori", fomentando la especulación sobre la verdadera rentabilidad del proyecto y obligando a las compañías a cumplir, para el año 2012, los mismos niveles de inmersión que a Brasil tomó 3 décadas, con la necesidad adicional de desplazar 6 veces más combustible con una *feedstock* menos energética.

Las consecuencias de tal medida comienzan a ser evidentes y en aras de conseguir la independencia petrolera foránea, se está fomentando una dependencia de etanol, foráneo, también, al no haber aún infraestructura suficiente.

Por otra parte, tras analizar el programa *pró-álcool* en Brasil a lo largo de las 3 décadas que le tomó perfeccionarse, resulta evidente que hay factores que no pueden ser considerados desde un comienzo. Los altibajos del programa mismo se debieron casi exclusivamente a las fluctuaciones del precio del petróleo, por lo que resulta indispensable identificar, e

[56] Capítulo 1, Tabla 1.4

integrar, a todos los *stakeholders* a modo de afectar lo menos posible a la cadena productiva durante el proceso.

En este rubro, el trabajo conjunto del gobierno –subsidios y proteccionismo-, Petrobrás – infraestructura y distribución - y el sector automotriz – automóviles a base de etanol y más tarde flex-fuel -, permitieron la flexibilidad necesaria y la creación de opciones para el consumidor promedio, a modo de permitirle escoger realmente qué energético es el más económico en un momento determinado, seleccionando ganadores de manera automática.

La integración y adaptación de la tecnología a la realidad brasileña, ayudada en gran medida por una mano de obra económica y condiciones tropicales, promovieron la utilización de la caña de azúcar como materia prima, sin descuidar la hegemonía alcanzada anteriormente en la industria azucarera. Como consecuencia de ello, se procuró un desarrollo factible, sin generar desabasto. La flexibilidad de manejar ambos mercados (etanol y azucarero), le dio la ventaja sobre MERCOSUR, a la vez que convirtió a Brasil en pionero y exportador de azúcar, energético y tecnología.

En materia ambiental, el programa pró-álcool ha tenido altibajos. Con la sustitución de oxigenantes fósiles por etanol, se ha propiciado una reducción en contaminantes, también ha disminuido la cantidad de emisiones de monóxido de carbono, así como hidrocarburos no quemados (el etanol tiene un mayor octanaje, por lo que su combustión es más limpia), pero se ha registrado un aumento en las emisiones de acetaldehído.

Con la masificación en la producción, se ha prohibido la práctica de la quema de cañaverales previo a la cosecha, lo cual ha contribuido, en términos generales, en una disminución de partículas emitidas al aire en el ciclo de vida del etanol y el potasio encontrado en vinazas promueve su reciclaje, haciendo más eficiente el ciclo.

Europa comparte una plataforma similar con Brasil. Años de experiencia han dejado un sector más desarrollado y consciente de los alcances de los diversos programas; sin embargo, las desigualdades económicas entre los antiguos miembros y los de recién ingreso a la comunidad han separado a la misma, ya que en países donde los subsidios pretenden profundizar el desarrollo de tecnología, se encuentra un desabasto de materia prima y en

países donde existe una gran producción, no se cuenta con los recursos necesarios para desarrollar tal tecnología.

El factor agrícola es un asunto que debe ser considerado, puesto que los subsidios otorgados promueven un cambio en el uso del suelo, encareciendo productos clave del sector y abaratando otras plantaciones, al borde de la quiebra. La legislación en este sentido es flexible, pero tajante; permite avances razonables, pero a la vez es altamente impositiva, manteniendo la hegemonía y previniendo a países de ingreso reciente a participar plenamente en el mercado energético.

El rumbo que se está tomando parece corregir lentamente el proceso y a medida que se converge hacia un mercado interno, se depende menos de importaciones. El desarrollo en tecnología propia, sobre todo en biodiesel, le da la ventaja económica a la Comunidad Europea y dependerá de ella misma el plantear una alternativa a dicha problemática, tal como lo hizo Brasil en su momento.

Las experiencias mostradas anteriormente deberán servir de base para el desarrollo futuro de los biocombustibles en México.

Capítulo 3

Sistemas de Transporte Eléctrico

Introducción

Históricamente, los sistemas autopropulsados eléctricamente han sido ampliamente utilizados en el sector de transporte público, particularmente por su característica de no consumir oxígeno en áreas cerradas como subterráneos o túneles y por poder proporcionar una alimentación constante mediante el uso de sistemas cerrados de potencia, permitiendo tanto un funcionamiento constante como un mantenimiento relativamente bajo.

El surgimiento de fuentes de energía alternativas al diesel en autobuses de transporte público en países como Canadá, Estados Unidos o Suecia, ha motivado aún más el desarrollo y la investigación en este campo. Incentivos destinados a la investigación y exploración de tecnologías como celdas de combustible y la comercialización masiva de automóviles híbridos parece reiniciar el viejo debate sobre el futuro del combustible fósil.

En esta sección se hará un énfasis en los sistemas de autotransporte eléctrico de pasajeros, ya sea público o privado, que no requieran seguir una línea de alimentación para su funcionamiento.

Se pondrá un mayor énfasis en el sector particular que en el público, ya que es precisamente este sector el responsable de la mayor cantidad de emisiones de GEI; sin embargo, se incluye también al sector público puesto que la gran mayoría de proyectos de este tipo son generalmente financiados por gobiernos estatales y federales como política anticontaminante.

En la primera parte del capítulo, se hará un recuento de la historia de los sistemas de transporte eléctrico, destacando los principales logros y altibajos. En la segunda parte se destacará el uso de sistemas de transporte eléctrico de uso particular; en la tercera parte, su correspondiente contraparte pública y finalmente en la cuarta parte se realizará un análisis económico y ambiental de cada tecnología.

3.1. Historia de los sistemas de transporte eléctrico

Un sistema de transporte eléctrico es, en esencia, un sistema eléctrico de potencia. En un sistema eléctrico de potencia, se cuenta con 5 subsistemas básicos: generación de energía, transmisión, acondicionamiento, distribución y consumo.

En el caso de un sistema de transporte, por ejemplo un tren, el sistema es el mismo, convirtiendo la energía eléctrica en mecánica para movilizar personas u objetos.

En este rubro, existen muy diversos sistemas, todos ellos considerados sistemas de transporte eléctrico por utilizar en algún punto la electricidad como fuente motriz –esto puede incluir escaleras eléctricas, montacargas, etc-. Si bien todos esos sistemas pueden ser considerados, esta tesis se enfocará únicamente en los sistemas relacionados con el autotransporte público y privado (automotriz).

3.1.1. Los primeros años: 1830 - 1930

El primer dispositivo motriz de origen eléctrico data de 1835, cuando un inventor de nombre Thomas Davenport ideó un sistema de vías electrificado que corría a cargo de un pequeño motor eléctrico. Cinco años más tarde, se otorgaría la patente en Inglaterra para utilizar rieles como conductores eléctricos[57].

Entre los años de 1832 y 1839, el inventor Robert Anderson, de Escocia, inventó el primer carruaje eléctrico, energizado por baterías primarias[58] no recargables, lo cual llevó a un siglo de investigaciones, por lo que para principios del siglo 20, los automóviles y trenes eléctricos eran algo común.

Los trenes eléctricos fueron muy utilizados en la minería, donde el uso de combustible fósil agotaría rápidamente el oxígeno necesario para los trabajadores y en países de escasas

[57] www.freepages.history.rootsweb.com
[58] Batería primaria: Batería cuyo proceso electroquímico no es reversible. Comúnmente se le encuentra en baterías alcalinas de zinc-carbón, donde revertir el proceso puede resultar en una explosión de la misma.

fuentes no renovables, como Suiza, se incentivó el rápido crecimiento de tecnología eléctrica.

La introducción de la batería recargable de níquel-hierro, favorecida por Edison, añadió practicidad a los vehículos, evitando la necesidad de cambiar baterías cada vez que éstas se agotaran. Los vehículos eléctricos coexistieron junto con los primeros automóviles y, previo a la existencia de ligeros y poderosos motores de combustión interna, fueron los motores eléctricos los que establecían marcas de velocidad y distancia a principios de siglo pasado (Figura 3.1).



Fuente: NMAH (2006 a).

Figura 3.1 Edison y el automóvil eléctrico, circa 1913.

Inventores tales como Gaston Plante y Camilla Faure mejoraron el compartimiento para alojar baterías en 1865 – 1881, por lo que durante el resto del siglo, esta tecnología floreció.

Para 1899, se establecía un nuevo récord mundial: 68 MPH en un automóvil diseñado por Camille Jénatzy, de origen belga.

También a finales de siglo, los estadounidenses comenzaron a prestar atención a la tecnología eléctrica, la cual incrementó tras la construcción de un pequeño triciclo eléctrico y una vagoneta para seis pasajeros, ambas construidas en 1891. Para el año 1897, la primer

aplicación comercial fue establecida como flota de taxis para la ciudad de Nueva York, construidas por la *Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia*.

Los automóviles más robustos, como el Phaeton de 1902, no eran más que carruajes sin caballo, tenían un alcance promedio de 18 millas, una velocidad máxima de 14 MPH y un costo de $2,000 dólares (Figura 3.2).



Fuente: inventors.about.com

Figura 3.2 Phaeton, boceto de 1902.

Para 1916, Woods inventó el automóvil híbrido, el cual tenía tanto un motor de combustión interna como uno eléctrico, por lo que para principios de siglo, se contaba con una extensa lista de opciones: a vapor, eléctrico, a gasolina, o una combinación de ambos. El auge de los automóviles eléctricos fue tal, que su producción inclusive superó a los de combustión interna, por ser éstos más eficientes, limpios y no generaban vibraciones propias del motor a 4 tiempos, alcanzando su máxima producción en 1912.

A partir de ese momento, en EUA se comenzó a construir el sistema carretero, uniendo ciudades enteras y fomentando el uso extendido del transporte, por lo que los autos eléctricos de poco alcance fueron cediendo ante los –ahora emergentes- motores a gasolina. Avances tecnológicos como la invención de la ignición eléctrica eliminó la necesidad de una manivela, facilitando el proceso de encendido y el descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos en Texas convirtió a este combustible en el más barato y, por lo tanto, asequible para cualquier ciudadano promedio.

Finalmente, el esquema de producción en serie del modelo T de Henry Ford, logró abaratar costos del automóvil a gasolina, logrando precios de hasta $650 dólares por unidad, mientras que un automóvil eléctrico costaba alrededor de $1,750 dólares, lo cual dio por concluida la vida del automóvil eléctrico en ese momento.

3.1.2. La etapa intermedia: 1930 - 1990

Para 1935, poco se recordaba del automóvil eléctrico y nada cambiaría hasta la década de 1960, cuando, a causa de una crisis petrolera y ambiental, se incentivó a los diversos mercados a buscar fuentes alternativas de energía.

Muchos prototipos fueron construidos en las tres décadas subsecuentes, siendo los más representativos la *Battronic Truck Company*, encargada de desarrollar pequeños camiones diseñados para carga, así como autobuses para pasajeros y dos compañías adicionales se encargaron de desarrolar vehículos para uso particular: *Sebring-Vanguard*, con una producción superior a 2,000 *citicars*, cuya velocidad máxima era de 44 MPH y un rango entre recargas de 50 a 60 millas (Figura 3.3). La otra compañía, *Elcar Corp.*, produjo un automóvil llamado '*The Elcar*', el cual costaba $4,000 dólares y cuya velocidad máxima era de 45 MPH, con un rango entre recarga de 60 millas (Figura 3.3).



Fuente: inventors.about.com

Figura 3.3 Sebring-Vanguard y Elcar, 1970.

Para 1975, el servicio postal de EUA –USPS- adquirió 350 jeeps eléctricos de la *American Motor Company*, para ser utilizados en un programa piloto. Éstos jeeps requerían un tiempo de recarga de 10 horas y un rango máximo de 40 millas.

3.1.3. La etapa actual: 1990 – presente

Una variedad de acciones legales y regulatorias, propiciaron el resurgimiento del automóvil eléctrico. En EUA, con la entrada en vigor del *Clean Air Act Amendment* de 1990, el *Energy Policy act* de 1992 y *California Air Resources Board* –CARB, se requerían medidas más restringentes, llegando incluso a una ley de cero emisiones, ZEV.

De esta manera, entre los años de 1996 a 1998, General Motors diseñó un vehículo eléctrico, totalmente nuevo, para concesión entre sus compradores. El vehículo, denominado EV1, funcionaba a base de un motor de corriente alterna y baterías de *lead-acid*, lograba una velocidad máxima de 80 MPH, con un rango de 80 millas entre carga y podía acelerar de 0 a 50 MPH en menos de 7 segundos.

Tras el periodo de contingencia, en el año 2003, GM decidió destruir todos los vehículos EV1 que había producido, lo cual despertó mucha duda e inspiró incluso una película, titulada "*Who Killed the Electric Car*". Con esto se daba nuevamente por terminada la era comercial del automóvil eléctrico, hasta que en el año 2006, un grupo de emprendedores fundaron una nueva compañía, denominada Tesla Motors, con la introducción de un nuevo modelo, el Tesla Roadster, de diseño agresivo y prestaciones deportivas, lo cual contrasta directamente con la ideología usual de un automóvil eléctrico (Figura 3.4)



Fuente: www.teslamotors.com

Figura 3.4 Tesla Roadster, en producción actual.

3.2. Sistemas de transporte de uso particular

3.2.1. Todo Eléctrico (All-Electric Plug-in)

Un vehículo eléctrico es todo aquel que funcione a base de uno o más motores eléctricos para su propulsión. El movimiento puede ser proporcionado por las ruedas o propulsores conectados directamente a motores eléctricos, o, en caso de vehículos en rieles, por motores lineales.

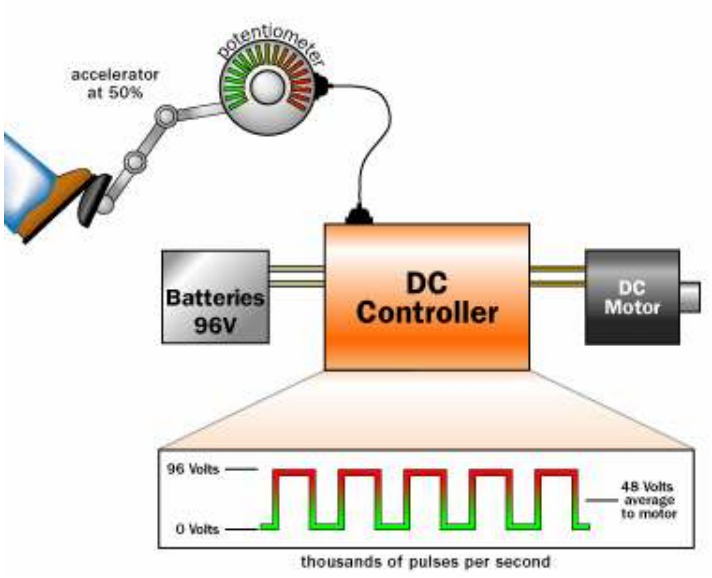
La energía utilizada para impulsar el vehículo puede ser obtenida de diversas fuentes, algunas más ecológicas que otras y comprenden sistemas RESS[59], supercapacitores, *flywheels*, o pueden ser generadas al momento, como es el caso de celdas de combustible o energía nuclear, o una mezcla de ambos.

Un vehículo *all-electric*, o totalmente eléctrico, obtiene la energía necesaria de una fuente eléctrica, ya sea convencional o en estaciones diseñadas para ese fin. Dependiendo de las necesidades del cliente, la tecnología disponible y los costos asociados, un automóvil eléctrico puede funcionar con un motor de corriente directa, DC, o un motor de corriente alterna o AC.

3.2.1.1. Principios de operación y elementos técnicos

Si se trata de un motor DC, el funcionamiento es sencillo: el pedal actúa como un potenciómetro, el cual actúa en conjunto con un controlador para realizar la pulsación necesaria y mantener una carga determinada. La velocidad se determina indirectamente con la cantidad de carga de la batería y las pulsaciones se mantienen a una tasa superior a 15,000 por segundo, para evitar ser escuchadas por el oído humano y no provocar distracciones. La batería mostrada posee una carga de 96 Volts, pero puede tener una carga de hasta 192 Volts (Figura 3.5).

[59] *RESS: Rechargeable Energy Storage System.*



Fuente: HowStuffWorks (2007).

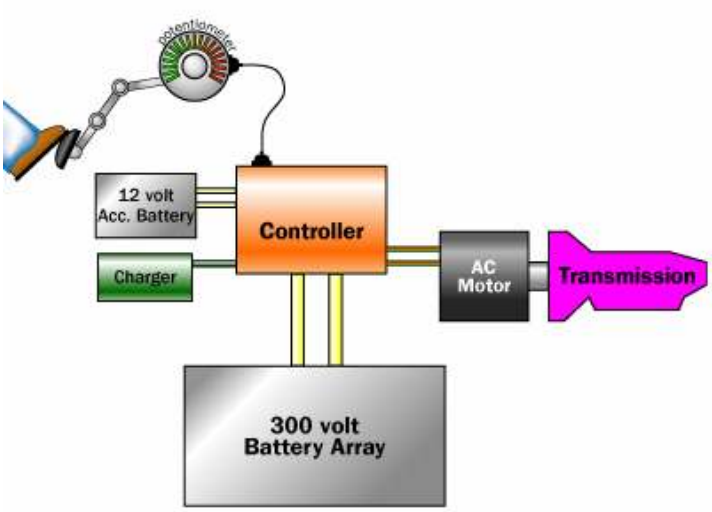
Figura 3.5 Principio de funcionamiento de un automóvil eléctrico de DC.

Este tipo de instalación tiende a ser sencilla y económica. El motor, por el contrario, suele ser más caro y cuya potencia varía entre 20,000 y 30,000 watts, con un flujo de corriente de 400 a 600 Amperes. Una característica interesante del motor de DC es que puede ser sobreexplotado por cortos periodos de tiempo hasta un máximo de 10:1, por lo que un motor de 20,000 watts puede aceptar 100,000 watts y otorgar 5 veces más potencia que su máximo establecido, lo cual mejora la aceleración. La limitación es, obviamente, que abusar de esta función genera calor excesivo y, ultimadamente, la destrucción del mismo.

Si se trata de un motor de AC, el sistema es un poco más complicado, pero es el mismo principio. El controlador crea 3 señales pseudo-senoidales, encendiendo y apagando el voltaje de DC de las baterías, pero adicionalmente se requiere invertir la polaridad, por lo que se tiene en realidad 6 transistores. En otras palabras, se trata de un inversor.

La principal ventaja de un sistema de AC es su compatibilidad: debido a su uso en la industria, encontrar un motor de dimensión, forma o potencia determinada es relativamente sencillo y por su construcción, durante el frenado es posible utilizarlo como generador, recuperando parte de la energía que de otra forma se disiparía en forma de calor.

La imagen que se muestra a continuación es el esquema del automóvil EV1, el cual otorgaba un máximo de 50,000 Watts de potencia al motor (Figura 3.6).

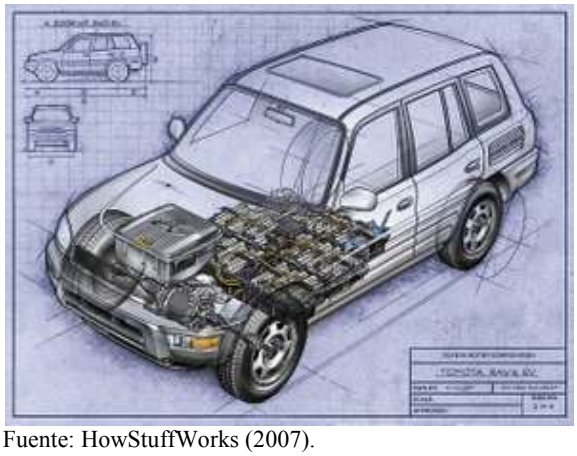


Fuente: HowStuffWorks (2007).

Figura 3.6 Principio de funcionamiento de un automóvil eléctrico de AC.

3.2.1.2. Aspectos económicos

Existen compañías especializadas en adaptaciones eléctricas a automóviles convencionales. Dichas compañías no cuentan con un gran volumen de ventas y pese a la existencia de una docena más de compañías, muchas de ellas realizan conversiones de diseños existentes de compañías conocidas (Figura 3.7). Algunas de estas compañías son Zenn Motor Company, Azeev Inc, Venturi Automobiles y Lightning Car Company.



Fuente: HowStuffWorks (2007).

Figura 3.7 Toyota RAV4 eléctrico. Arreglo con 24 baterías de 12 volts.

3.2.1.3. Aspectos medioambientales y sociales

El punto a favor más fuerte es, sin duda, la ausencia total de GEI, por lo que esta tecnología es muy promisoria y los vehículos son considerados ZEV[60], o vehículos de cero emisiones. El uso de tecnologías que involucran vehículos de cero emisiones es benéfico para las zonas urbanas, pues contribuye a una disminución en gases contaminantes, mejorando realmente la calidad de vida de sus habitantes.

3.2.1.4. Ventajas y desventajas

La Tabla 3.1 destaca un comparativo entre ventajas y desventajas de esta tecnología.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de la tecnología *todo eléctrico*.

Ventajas	Desventajas
Motor totalmente silencioso.	Periodos de recarga extensos, hasta 5 horas.
No requiere fluídos para prevenir la fricción en los componentes.	Distancia entre recargas relativamente corta (hasta 350 kilómetros)
Prestaciones equivalentes a un motor a gasolina mucho más potente debido a características eléctricas.	Costo de las baterías es elevado (aproximadamente 40,000 dólares para un *rack* de baterías de Li-ion para un sedán promedio).
Tamaño compacto del motor, lo cual representa un menor PWR[4], lo cual da más potencia.	Poco o nulo interés por parte de las compañías manufactureras automotrices por desarrollar esta tecnología.
No requiere clutch, ni caja de velocidades. Menos partes móviles.	
El recorrido promedio en ciudad es 30 kilómetros diarios, por lo que el rango de movilidad es perfectamente suficiente para el viajero urbano.	
Las recargas pueden ser nocturnas, cuando la demanda eléctrica sea menor.	

Fuente: Investigación propia.

[60] *ZEV: Zero Emission Vehicle*

3.2.2. Híbrido[61]

Un vehículo híbrido es aquel que posea una fuente fósil de energía –gasolina- y una fuente eléctrica. Típicamente, se utilizan baterías de níquel, a lo que se le llama PHEV[62], o vehículo híbrido eléctrico, pero la fuente eléctrica puede ser solar, eólica, o cualquier otra, siempre y cuando genere electricidad. La característica principal de un vehículo híbrido radica en su posibilidad de funcionar en modo completamente eléctrico o completamente fósil, o cualquier combinación de ambos.

3.2.2.1. Principios de operación y elementos técnicos

Como se explicó anteriormente, un vehículo híbrido es la conjunción entre un vehículo eléctrico y uno a gasolina, por lo que el vehículo cuenta con los dos motores. La clave en la operación es el uso del motor eléctrico para trayectos cortos a bajas velocidades (ciudad) y el uso del motor a gasolina para trayectos largos y altas velocidades, interactuando uno con el otro para regenerar y recargar las baterías.

3.2.2.2. Aspectos económicos

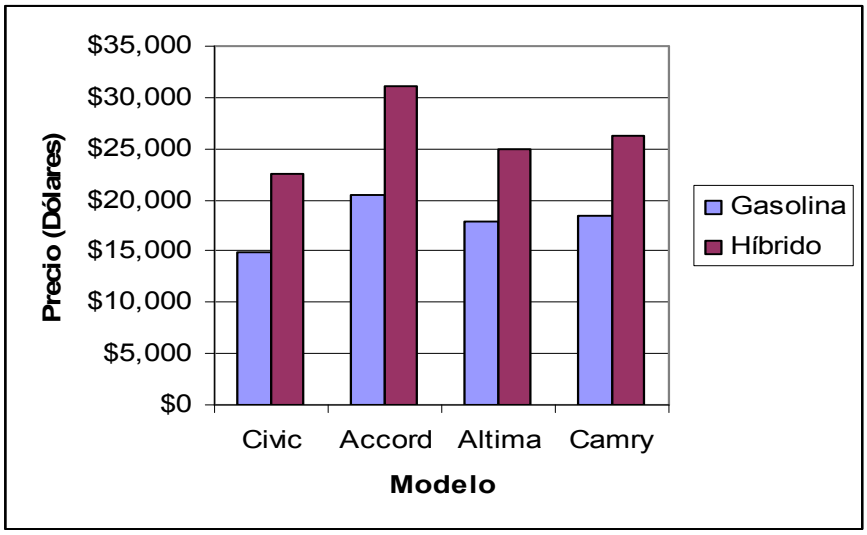
El principal incentivo en la adquisición de un vehículo híbrido es el ahorro en gasolina que representa. En este rubro, las compañías con automóviles de producción actual incluyen a Honda, Toyota, Nissan y Saturn. La tecnología está disponible desde el año 2005 y en las Tablas 3.2a y 3.2b se muestra un comparativo entre precios y rendimiento, tomando en consideración valores promedio.

La ventaja más considerable es contar con la versatilidad de ambos sistemas en un mismo vehículo. El motor eléctrico posee frenado regenerativo, lo cual recupera parte de la energía al frenar, que de otra forma se disiparía en forma de calor, así como un alto *torque* a bajas velocidades, lo que produce una gran respuesta al acelerar sin necesidad de un gran motor -

[61] Existen iniciativas para convertir flotillas de taxis convencionales a híbridos en EUA, lo cual cambiaría el giro referido en esta tesis. Sin embargo, esa iniciativa se analizará más a fondo en el siguiente capítulo.
[62] *PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle.*

y sin consumo de gasolina-. El motor a gasolina permite hacer recargas de combustible en minutos, pues funciona con gasolina y no horas de recarga de baterías. Adicionalmente, provee al automóvil de la energía adicional requerida para altas velocidades y es mecánicamente idéntico a un motor a gasolina, con todas las ventajas y desventajas que eso conlleva.

La mayor desventaja es, sin duda, su precio: el automóvil es necesariamente más caro pues requiere dos motores, uno eléctrico y uno a gasolina (Figura 3.8); de los modelos seleccionados, el precio de los vehículos híbridos resultó, en promedio, 46% mayor que su símil no híbrido. En el caso del Civic, el precio aumentó en un 52.59%, mientras que su rendimiento incrementó en un 47%, ligeramente menor al costo asociado.



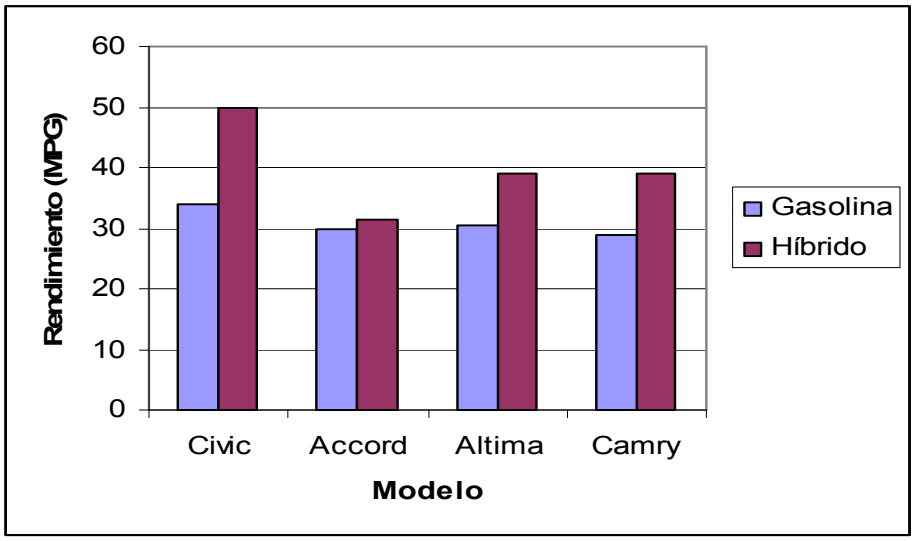
Fuente: Yahoo! Autos (2007), cars autoblog (2007).

Figura 3.8 Costo de un automóvil híbrido y uno de gasolina.

3.2.2.3. Aspectos medioambientales y sociales

El uso de dos motores lo hace, además, más pesado, lo cual puede repercutir de dos maneras: o lo torna más lento, o lo hace consumir más energía para desplazarse. En el caso particular del Honda Accord, se puede apreciar una relación costo/beneficio muy baja: con un costo 51.84% mayor que su símil no híbrido, el rendimiento aumenta un insignificante 5%, de 30 MPG a 31.5 MPG. Calculando a $3.00 dólares el galón de gasolina, se

requerirían 30 años para compensar el costo adicional, lo cual no es ni remotamente preferible, ni ambientalmente rentable (Figura 3.9).



Fuente: Yahoo! Autos (2007), cars autoblog (2007).

Figura 3.9 Rendimiento de un automóvil híbrido y uno de gasolina.

3.2.2.4. Ventajas y desventajas

La Tabla 3.2 muestra el cuadro comparativo entre características de esta tecnología.

Tabla 3.2 Tabla comparativa de la tecnología híbrida.

Ventajas	Desventajas
Eficiencia combinada superior a vehículos a gasolina (en algunos modelos)	Es mecánicamente idéntico a un motor a gasolina, por lo que requiere aceites, lubricantes y posee una gran cantidad de partes móviles.
Frenado regenerativo. Incrementa la vida útil de los frenos y carga la batería eléctrica.	Por contar con ambos motores, su precio es elevado con respecto a su símil a gasolina.
Funcionamiento a base de gasolina, por lo que el tiempo de recarga de combustible es rápido.	La popularidad de esta tecnología ha llevado al diseño a automóviles que no son ni ambientalmente ecológicos, ni costeables, pero que se escudan bajo esa falsa premisa.
Es mecánicamente idéntico a un motor a gasolina.	El automóvil, al ser más pesado por contar con ambos motores, necesariamente requiere sacrificar potencia o economía de combustible.
Es mecánicamente idéntico a un motor eléctrico.	El costo de reemplazo de la batería, en caso de falla, es muy elevado y la energía almacenada en ella no es muy significativa.

Fuente: Investigación propia.

3.2.3. Energía solar

Un automóvil solar es un vehículo eléctrico que funciona a través de energía solar obtenida exclusivamente de celdas fotovoltaicas dispuestas en la superficie del automóvil.

3.2.3.1. Principios de operación y elementos técnicos

El sistema eléctrico es el más importante de todos los sistemas, puesto que controla todo el poder que entra y sale del mismo. El *rack* de baterías utilizado sirve para almacenar la energía, de manera idéntica que un automóvil con motor eléctrico, las baterías utilizadas pueden ser de *lead-acid* (del mismo tipo que las utilizadas en un vehículo a gasolina), NiMH, INCD o Li-ion. Las baterías que ofrecen una mejor relación peso-potencia son las de Li-ion[63], pero su precio es elevado, por lo que generalmente se utilizan baterías de *lead-acid.* La variación en voltaje depende del diseño que se maneje, pero generalmente se trata de un rango de entre 84 y 170 volts, el cual es regulado de la misma manera que un automóvil eléctrico mediante electrónica de potencia.

Internamente, se cuenta con un indicador de potencia máxima, el cual administra la potencia obtenida del arreglo solar para maximizar los recursos, así como proteger a las baterías de sobrecargarse. Se cuenta también con otro dispositivo, el controlador del motor, el cual administra el flujo eléctrico al mismo de acuerdo con señales del acelerador.

El arreglo del motor y transmisión es único en automóviles solares, puesto que, a diferencia de un automóvil eléctrico, el motor sólo hace girar una rueda, usualmente en la parte trasera del auto, debido a la poca potencia que genera. Los vehículos solares tienen una potencia que oscila entre los 2 y los 10 HP y el motor más comúnmente utilizado es un motor de dos devanados de corriente directa.

La transmisión utilizada es generalmente otro motor de corriente directa, puesto que en la mayoría de los casos se cuenta con una sola velocidad.

[63] Capítulo 1, Tabla 1.8.

Para recaudar la energía eléctrica necesaria, las celdas fotovoltaicas deben ser colocadas en serie alrededor del vehículo. Una celda fotovoltaica necesita estar en contacto directo con los rayos del sol, puesto que de lo contrario ésta actúa como un diodo, bloqueando el paso de corriente a las demás. De la misma manera, la batería puede revertir el curso de la corriente, por lo que es indispensable contar con un sistema de diodos para prevenir cualquiera de las dos eventualidades.

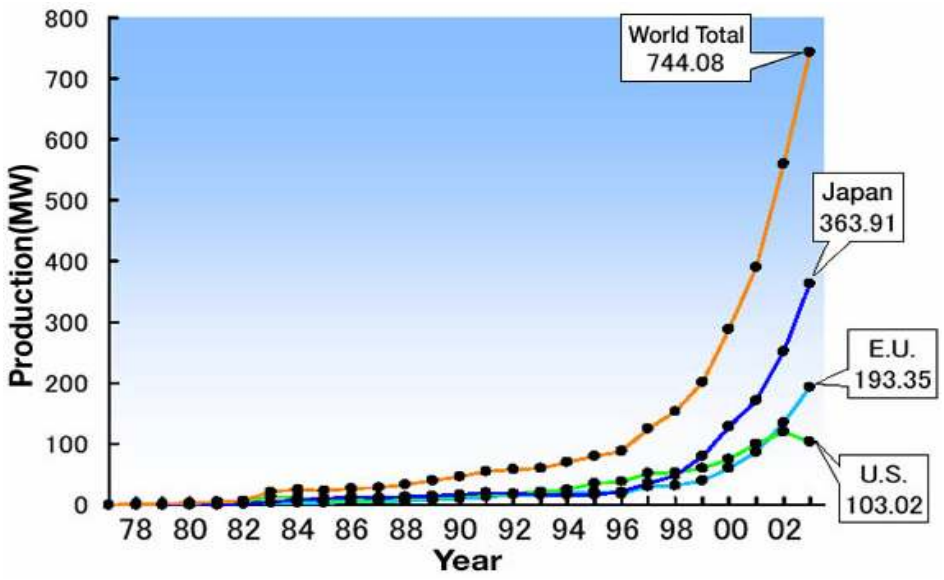
La potencia producida por un arreglo solar depende de las condiciones del tiempo, la posición del sol y la capacidad del arreglo. A mediodía, o bajo luz intensa, un arreglo puede producir en promedio más de 2 Kw de energía (2.6 HP)

Mecánicamente, dado que se cuenta con muy poca energía, el automóvil se debe construir con materiales livianos y generalmente son vehículos de tres ruedas, con dos adelante para dirigir y una atrás para seguir. La suspensión delantera es generalmente similar a la de un automóvil común, mientras que la trasera es más similar a la de una motocicleta.

3.2.3.2. Aspectos económicos

Una de las principales limitantes al desarrollo del vehículo solar, es el elevado costo de los paneles solares y los matriales ligeros como fibra de carbono o kevlar necesarios para hacer un vehículo liviano y resistente. Con un costo aproximado de $4.50 dólares por watt (SSI, 2007), alcanzar los 2 kW requeridos da un elevado costo de $9,000 dólares tan solo para dar energía al vehículo, sin contar las baterías necesarias para su almacenamiento.

Sin embargo, la producción de celdas fotovoltaicas ha aumentado considerablemente en los últimos años y salvo el caso de Estados Unidos, muestra un crecimiento exponencial constante (Figura 3.10). De esta manera, a medida que la tecnología se torna accesible para la mayoría de población, puede ser posible ver un cambio en este campo de investigación en un futuro a mediano plazo.



Fuente: Sanyo electric co. (2004).

Figura 3.10 Producción de celdas fotovoltaicas en el mundo.

3.2.3.3. Aspectos medioambientales y sociales

A pesar de ser limpios en su totalidad, los vehículos solares no son prácticos en el transporte día a día. Sin embargo, representan un logro de ingeniería moderna y la aceptación social ha sido tan grande, que cada año empresas particulares, instituciones gubernamentales enfocadas al desarrollo de tecnologías alternativas y fabricantes de automóviles como GM y Ford co-patrocinan diversos eventos, tales como la *American Solar Challenge* (Figura 3.11), cuya finalidad es integrar e interesar a la gente sobre los alcances de tal tecnología.



Fuente: AMS (2003).

Figura 3.11 Automóvil solar.

3.2.3.4. Ventajas y desventajas

La Tabla 3.3 muestra una comparación sobre ventajas y desventajas de la tecnología solar.

Tabla 3.3 Tabla comparativa de la tecnología solar.

Ventajas	Desventajas
El combustible es el sol, por lo tanto es gratis.	Extremadamente cara: $4.50 dólares/ watt, sin incluir el costo de las baterías.
No emite GEI.	Poca potencia: de 2 a 10 HP, lo cual se traduce en baja velocidad.
Existen muchos programas e incentivos que pueden co-financiar la compra de paneles solares	Susceptible a los cambios climáticos.
La operación es silenciosa	
Las celdas solares tienen una vida media de más de 40 años, más durabilidad inclusive que la edificación misma.	

Fuente: Investigación propia.

3.3. Sistemas de transporte de uso público

3.3.1. Celdas de Combustible (Fuel-cells)

Un vehículo de celda de combustible, o *fuel cell*, es en esencia un vehículo eléctrico que no posee baterías puesto que genera su fuente primaria de energía *in situ*. El proceso de creación de energía eléctrica es mediante un proceso químico utilizando hidrógeno como combustible y oxígeno del aire.

3.3.1.1. Principios de operación y elementos técnicos

Dependiendo de la tecnología utilizada, las celdas de combustible pueden funcionar a base de hidrógeno puro, almacenado en tanques presurizados, o a base de combustibles ricos en hidrógeno, como metanol, gas natural, o incluso gasolina, pero el hidrógeno debe ser previamente extraído mediante un dispositivo interno conocido como *reformer*.[64] En la actualidad, existen diferentes tipos de celdas de combustibles, cada una con diferentes

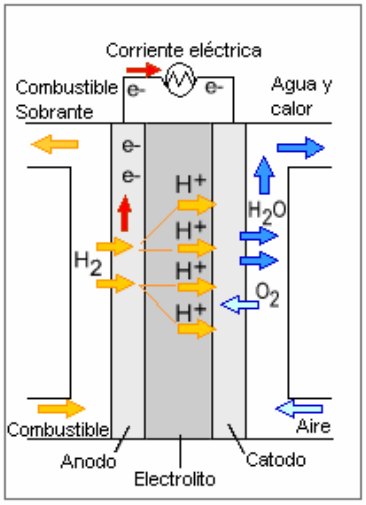
[64] Dispositivo que separa gas hidrógeno de hidrocarburos mediante un catalizador.

características, ventajas y desventajas. Por el momento, las más desarrolladas son las siguientes:

- Membrana de Intercambio de Protones (PEMFC[65])

La celda de combustible de intercambio de protones, PEMFC, entrega una alta concentración de potencia y ofrece las ventajas de bajo peso y volumen, utilizando como electrolito una membrana polimérica muy delgada y altamente conductora. Dicha membrana tiene un espesor que varía de 50 a 175 μm y para que pueda ocurrir el transporte iónico a través de las membranas, deben estar perfectamente humedecidas con agua (Figura 3.12).

Su temperatura de operación oscila entre los 80°C y los 100°C. Es necesario que las celdas cuenten con un sistema de refrigeración para mantener a la membrana con una temperatura por debajo del punto de ebullición del agua, para que el agua adsorbida por la membrana no se evapore. De igual manera, el agua producida en el cátodo debe ser expulsada rápidamente, pues de lo contrario se acumularía y el oxígeno no tendrá espacio para entrar, impidiendo el proceso de reducción (Kiehne, 2003).



Fuente: FCW (2003).

Figura 3.12 Principio de funcionamiento de una PEMFC.

[65] *PEMFC: Proton Exchange Membrane Fuel Cell*

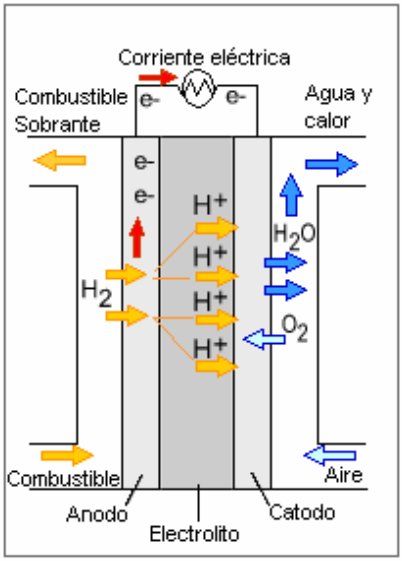
- Ácido Fosfórico (PAFC[66])

Las celdas de combustible de ácido fosfórico, PAFC, utilizan ácido fosfórico líquido como electrolito y electrodos de carbón poroso con un catalizador de platino (Figura 3.13).

Esta celda de combustible es considerada como la 'primera generación' de las celdas modernas y su temperatura de operación oscila entre los 150°C y los 200°C. Debido al nivel de reactividad del electrolito, es necesario utilizar una capa de catalizador en sus electrodos, pero también gracias al electrolito, las celdas de ácido fosfórico pueden tolerar concentraciones de CO_2 en el hidrógeno cercanas al 3% (Hoffmann, 2004).

Es condición necesaria de operación el mantener un espesor de 0.1 – 0.2 mm en el electrolito, para la cual se utiliza regularmente carburo de silicio. Como consecuencia, el peso y volumen de la celda aumenta, a la vez que la densidad de potencia se mantiene baja.

Por otra parte, el electrolito de ácido fosfórico debe mantener una temperatura de operación, aunque la celda de combustible se encuentre inactiva, de por lo menos 45°C, ya que de lo contrario el electrolito podría solidificarse imposibilitando la transferencia iónica (Kiehne, 2003).



Fuente: FCW (2003).

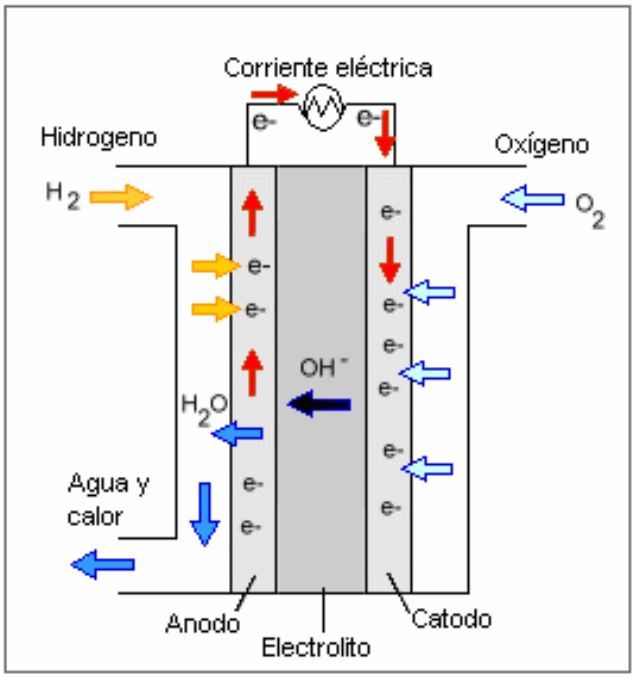
Figura 3.13 Principio de funcionamiento de una PAFC.

[66] *PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell*

- Alcalina (AFC[67])

Las celdas de combustible alcalinas, AFC, utilizan una solución a base de hidróxido de potasio en una solución acuosa como electrolito y pueden utilizar una gran variedad de metales no preciosos como catalizador. Este tipo de celda es utilizado por el programa espacial de la NASA para producir energía eléctrica y agua a bordo (Figura 3.14).

Desafortunadamente, este tipo de celda es fácilmente contaminado por dióxido de carbono y cualquier filtración de gas requeriría una purificación tanto del hidrógeno como del oxígeno, resultando en un costo elevado. Una de las principales limitantes de esta tecnología es su durabilidad, ya que se cuenta con una vida útil estable de 8,000 horas, mientras que para alcanzar niveles aceptables debe exceder 40,000 horas.



Fuente: FCW (2003).

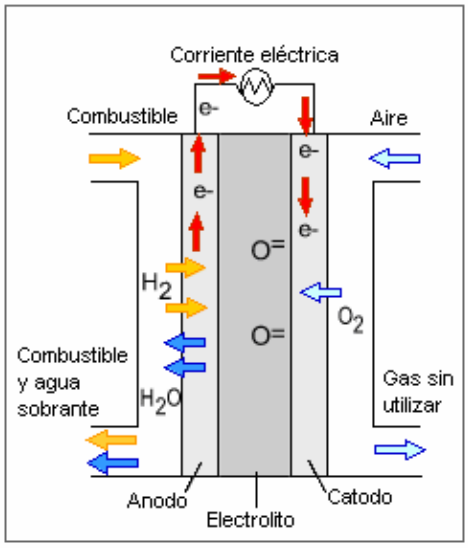
Figura 3.14 Principio de funcionamiento de una AFC.

[67] *AFC: Alkaline Fuel Cell.*

- Óxido Sólido (SOFC[68])

Las celdas de combustible de óxido sólido, SOFC, utilizan un óxido cerámico sólido como electrolito, como el óxido de zirconio (ZrO_2) con pequeñas cantidades de óxido de Itrio (Y_2O_3).

En el cátodo el oxígeno se combina con los electrones generados en el ánodo para formar iones negativos de oxígeno (O^{2-}). Las propiedades electrolíticas del ZrO_2 permiten, únicamente, el flujo de iones de O^{2-} desde el cátodo hacia el ánodo. En el ánodo la molécula de hidrógeno se separa en protones y electrones debido a las reacciones de oxidación y reducción que ocurren en los electrodos. Los protones reaccionan con los iones de oxígeno generando agua y calor, los electrones se transportan hacia el cátodo a través de un circuito externo creando un flujo de corriente eléctrica a su paso (Figura. 3.15).



Fuente: FCW (2003).

Figura 3.15 Principio de funcionamiento de una SOFC.

Adicionalmente, las SOFC cuentan con un diseño tubular, lo cual permite el flujo de aire en el interior de la celda y el flujo de hidrógeno por el exterior. Una celda tubular pude entregar normalmente desde 900 mV hasta 1 V (Herman, 2003).

[68] *SOFC: Solid Oxide Fuel Cell.*

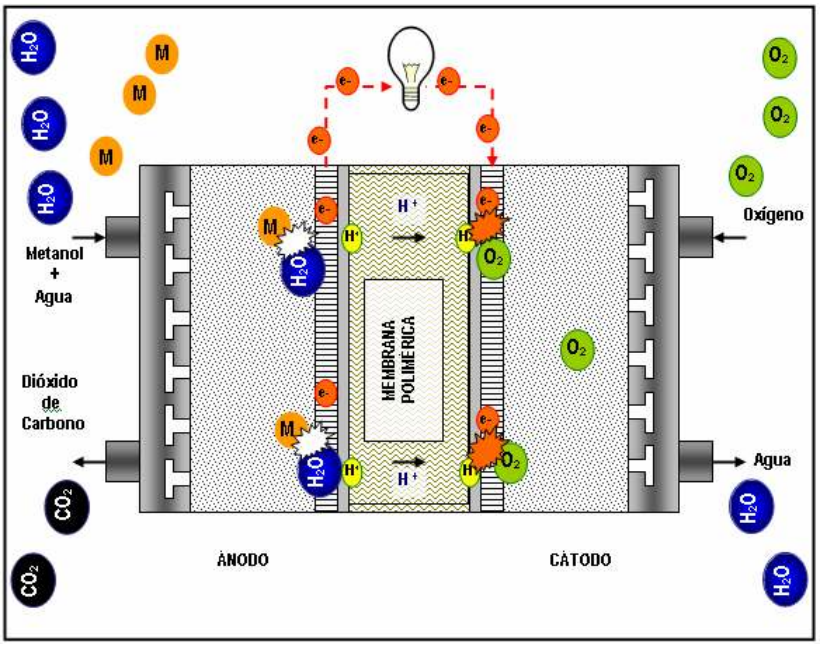
Las temperaturas de operación de las SOFC fluctúan entre los 800°C y los 1000°C, lo cual permite que las reacciones electroquímicas se lleven a cabo rápidamente sin la necesidad de una gran cantidad de catalizador ni *reformer*, pero pueden utilizar gas natural en lugar de hidrógeno.

La operación a altas temperaturas provoca un inicio lento y requiere varias capas de aislante térmico, lo cual la torna impráctica para el transporte en pequeña escala y aplicaciones portátiles. Adicionalmente, las temperaturas de operación ocasionan corrosión y rupturas en los componentes de la celda (Kirschenhofer, 1998).

- Metanol Directo (DMFC[69])

Estas celdas utilizan una membrana polimérica como electrolito y una mezcla de metanol y agua en lugar de hidrógeno (Figura 3.16). Su funcionamiento es muy similar a la celda SOFC, produciéndose la siguiente reacción:

Reacción en el ánodo:	$\mathbf{CH_3HO + H_2O \rightarrow CO_2 + 6e^- + 6H^+}$
Reacción en el cátodo:	$\mathbf{3/2O_2 + 6e^- + 6H^+ \rightarrow 3H_2O}$
Reacción Global:	$\mathbf{CH_3HO + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O}$



Fuente: Pérez (2005).

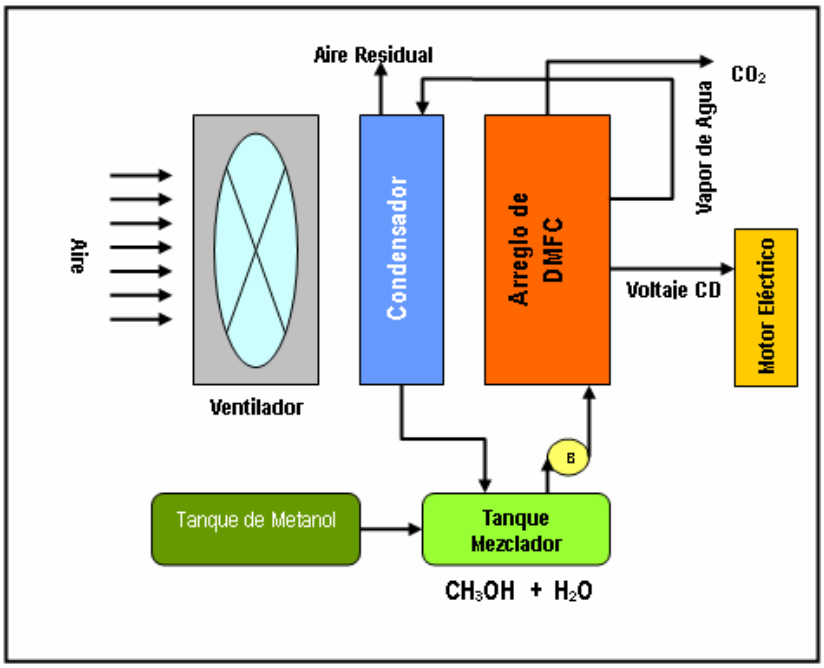
Figura 3.16 Principio de funcionamiento de una DMFC.

[69] *DMFC: Direct Methanol Fuel Cell*

En el ánodo se mezcla el metanol con agua y se producen protones, electrones y dióxido de carbono. La división molecular de la mezcla metanol-agua es provocada por las reacciones químicas que suceden en el ánodo y el cátodo. Los protones se trasladan hacia el cátodo a través de la membrana polimérica. Los electrones no pueden desplazarse hacia el cátodo a través de la membrana debido a su carga eléctrica negativa, por esa razón circulan por un circuito externo, creando a su paso un flujo de corriente eléctrica. En el cátodo se combinan nuevamente los protones y electrones que reaccionan con el oxígeno proveniente del aire produciendo agua y calor. Las temperaturas de operación de las DMFC oscilan entre los 80°C y los 100°C.

La mezcla metanol-agua requiere de grandes cantidades de catalizador para poder acelerar su división molecular, incrementando considerablemente los costos del sistema. (Thomas y Zalbowitz, 1999).

La principal aplicación de las celdas de combustible de metanol directo es suministrar energía a sistemas de potencia de automóviles, además de que pueden ser utilizadas en donde se requieran celdas de combustible muy pequeñas, como es el caso de electrónicos (Figura 3.17).



Fuente: Thomas y Zalbowitz (1999), citado por Pérez (2005).

Figura 3.17 Sistema eléctrico de potencia basado en celdas de metanol directo.

- Regenerativa

Este tipo de celda de combustible también produce electricidad a partir del hidrógeno y del oxígeno, generando calor y agua como subproductos, pero posee la característica de ser capaz de utilizar electricidad de fuentes diversas, como la energía solar, para obtener oxígeno e hidrógeno a partir del exceso de agua[70]. Actualmente se encuentra bajo desarrollo en el centro de investigación de la NASA. La Tabla 3.4 muestra las características de las principales celdas de combustible.

Tabla 3.4 Comparativo entre diferentes tipos de celdas de combustible.

CARACTERÍSTICAS	PAFC	PEMFC	DMFC	SOFC
Electrolito	Ácido fosfórico líquido	Membrana de intercambio iónico	Membrana polimérica	Óxido de metal sólido
Temp. Operativa	150 – 200°C	60 – 100°C	80 – 100°C	600 – 1000°C
Reforming	Externo	Externo	Externo/interno	Externo/interno
Oxidante	O_2/aire	O_2/aire	O_2/aire	O_2/aire
Eficiência	35 – 50%	35 – 50%	35 – 50%	45-60%

Fuente: FCW (2003).

3.3.1.2. Aspectos económicos

La celda de combustible de tipo PEMFC ofrece grandes ventajas, pero requiere un metal precioso como el platino para su funcionamiento, por lo que su costo de fabricación el elevado. De igual manera, la de tipo PAFC, más tolerante a impurezas, es también de un costo elevado.

La de tipo alcalino se encuentra en estado experimental, por lo que su uso es restringido a la investigación. En la industria, las celdas más propicias son las de tipo SOFC y DMFC. Económicamente hablando, las de tipo SOFC son más caras, pero no requiere *reformer* puesto que trabajan a altas temperaturas, justificando de alguna manera su costo. Finalmente, las de tipo DMFC son las más desarrolladas, por ser éstas utilizadas en la industria del transporte.

[70] Este proceso se le conoce como electrólisis.

El costo relacionado con el uso de platino como electrolito ha propiciado que en tiempos recientes, el Jet Propulsion Laboratory desarrolle diseños encaminados a reducir la cantidad utilizada. Actualmente, se requiere de 4 mg de platino por cm^2 de celda ($4mg/cm^2$), siendo la meta de estos estudios el desarrollar celdas que ofrezcan densidades de potencia del orden de los 300 mW/cm^2 con una cantidad de platino no mayor a 1 mg/cm^2 (McAlister, 2003).

3.3.1.3. Aspectos medioambientales y sociales

El uso de celdas de combustible pretende solucionar el mayor problema de contaminación urbana, el cual es la emisión de partículas suspendidas y gases de lluvia ácida al ambiente. En teoría, el uso de celdas de combustible a base de hidrógeno eliminaría completamente ese padecimiento; sin embargo, ello requeriría un cambio en la economía mundial, tornando a la economía del petróleo en una supuesta economía del hidrógeno.

El principal problema medioambiental radica en la forma de obtención de tal combustible. El hidrógeno no se encuentra en estado libre en la naturaleza, por lo que obtenerlo requeriría, necesariamente, el uso de fuentes no renovables de energía.

Dado que un cambio de tal magnitud requeriría necesariamente una adaptación gradual, tecnologías como las celdas de metanol o de óxido sólido pueden ser muy útiles, aun a pesar de no ser 100% limpias. De acuerdo con estudios de la US EPA, el uso de celdas de metanol podría reducir las emisiones del dióxido de carbono a menos de un tercio en comparación con el uso de la gasolina o el diesel. En cuanto a las emisiones de partículas suspendidas y compuestos tóxicos, estas se eliminarían casi por completo (U.S. EPA, 2002).

3.3.1.4. Ventajas y desventajas

En la Tabla 3.5 se realiza un comparativo entre ventajas y desventajas de los diversos tipos de celdas de combustible.

Tabla 3.5 Comparativo de la tecnología de celdas de combustible, por tipo.

Tipo de Celda	Ventajas	Desventajas
Membrana de Intercambio de Protones (PEMFC)	Funcionamiento a base de un polímero sólido como electrolito	Por utilizar un catalizador de platino, su costo de fabricación es elevado.
	Bajo peso y volumen	Catalizador altamente sensible al monóxido de carbono, por lo que es necesario un *reformer* si se pretende trabajar con hidrocarburos.
	Alta concentración de potencia	
	Operación a bajas temperaturas, disminuyendo el tiempo de espera y alargando su vida útil.	
Ácido Fosfórico (PAFC)	Más tolerante a contaminación por monóxido de carbono	Posee una temperatura de operación mayor que la PEMFC, reduciendo su vida útil e incrementando el tiempo de espera para entrar en funcionamiento.
	Utilización actual en autobuses y pequeñas plantas de generación eléctrica	Costo elevado por utilizar catalizador de platino.
Óxido Sólido (SOFC)	Electrolito sólido, por lo que se permite mayor flexibilidad	No son propensas a contaminación por monóxido de carbono.
	No requiere el uso de *reformers*, puesto que todo se desarrolla internamente de manera automática debido a las altas temperaturas.	Opera a altas temperaturas, lo cual la torna impráctica para aplicaciones en dispositivos portátiles o transporte.
	Pueden utilizar el monóxido de carbono como combustible, así como diversos gases obtenidos a base de carbón.	
Regenerativa	Posee todas las propiedades de una PEMFC, pero con la capacidad para utilizar electricidad de diversas fuentes, tales como solar, eólica, etcétera, para generar hidrógeno y oxígeno a partir del exceso de agua.	Se encuentra en un proceso muy preliminar de investigación en la NASA.
Metanol Directo (DMFC)	El principal combustible es metanol, fácilmente almacenable y disponible en la biomasa o en la gasolina, facilitando la transición a esta nueva tecnología.	Una gran cantidad de metanol (30%) se pierde sin reaccionar debido a propiedades de la misma.
	No requiere *reformer* alguno. Todo el proceso se lleva a cabo internamente.	La oxidación del metanol produce aldehídos o ácidos, corrosivos para el sistema.
	Es la más viable para ser utilizada como alternativa a la gasolina en automóviles.	La mezcla metanol-agua requiere grandes cantidades de catalizador, incrementando su costo.

Fuente: Adaptado de Pérez (2005).

3.4. Análisis energético comparativo y ciclo de vida

Para realizar un comparativo energético y de eficiencia entre las diversas tecnologías disponibles se consideró la eficiencia total de cada proceso, también conocida como *well to wheels*, y se tomaron en cuenta los sistemas más eficientes a 2006.

El análisis comienza con el contenido energético del combustible convencional, por ejemplo petróleo o gas natural, para posteriormente cotejarlo con su contenido energético una vez que éste ha sido convertido en el producto final, como gasolina o electricidad, substrayendo la energía que fue necesaria para transportar dicho combustible hasta el centro de distribución, o la estación de gasolina.

Para poder comparar los datos obtenidos, el contenido energético de los combustibles será expresado en megajoules por Kilogramo (MJ/Kg) y la eficiencia en Km/MJ de combustible utilizado. Evidentemente, entre más elevada sea esta cifra, más eficiente será el proceso.

3.4.1. Automóviles a gasolina

Para comenzar con el cálculo de la eficiencia, es necesario partir del contenido energético de la gasolina, el cual es 46.7 MJ/Kg, o 34.3 MJ/L (Bossel a, 2003). La producción de gasolina y su transporte hasta la terminal es un proceso 81.7% eficiente, en promedio (NyLund, 2001), lo cual significa que 18.3% del contenido energético del petróleo se pierde debido a producción y transporte, lo cual quiere decir que 34.3/18.7% = 42 MJ/L. En promedio se requieren 42 MJ de petróleo para producir un litro de gasolina en la terminal.

A la fecha, el vehículo construido a gasolina más eficiente ha sido el Honda Civic VX, en 1993, con una eficiencia estimada de 51 MPG, o 21.7 kilómetros por litro. De esta manera, la eficiencia del vehículo daba un total de 21.7/42 = 0.52 Km/MJ. Un vehículo actual tiene una eficiencia promedio de 0.28 Km/MJ.

3.4.2. Automóviles híbridos

Dado que ningún vehículo híbrido comercializado en la actualidad carga sus baterías de una fuente distinta a la generada por el motor a gasolina, este puede ser considerado, desde el punto de vista de eficiencia y emisión de GEI, como un vehículo a gasolina más eficiente.

El vehículo más eficiente de su ramo es el Honda Insight, de 2005, el cual ofrecía una eficiencia de 63 MPG, ó 26.8 Km/L. Utilizando la misma ecuación que con el ejemplo anterior, se tiene una eficiencia de 0.64 Km/MJ. El más popular de todos los vehículos híbridos, el Prius de Toyota, entrega una eficiencia de 0.56 Km/MJ.

De manera adicional, la Tabla 3.6 muestra la eficiencia, en términos de rendimiento, de lo discutido anteriormente.

Tabla 3.6 Comparativo entre vehículos híbridos y convencionales.

Marca	Modelo	Precio	Rendimiento (Millas por galón, MPG, combinado)
Honda	Civic	$14,810	34 MPG
Honda	Civic hybrid	$22,600	50 MPG
Honda	Accord	$20,475	30 MPG
Honda	Accord hybrid	$31,090	31.5 MPG
Nissan	Altima	$17,950	30.5 MPG
Nissan	Altima hybrid	$24,990	39 MPG
Toyota	Camry	$18,470	29 MPG
Toyota	Camry Hybrid	$26,200	39 MPG

Fuente: Yahoo! Autos (2007), cars autoblog (2007).

3.4.3. Automóviles eléctricos

El consumo promedio de un vehículo eléctrico es de 110 watt-hora, ó 0.40 MJ de electricidad para manejar un kilómetro, ó 2.5 Km/MJ. La eficiencia para el ciclo de carga y descarga de baterías de Li-ión es de 86% (Eberhard, 2005), por lo que la eficiencia total es de 2.18 Km/MJ.

La forma actual más eficiente para producir energía eléctrica es mediante una planta de gas natural de ciclo combinado, la cual tiene una eficiencia de aproximadamente 60%. La recuperación de gas natural tiene una eficiencia de 97.5%, así como su procesamiento.

Posteriormente, la electricidad es transportada sobre el trazado eléctrico, el cual tiene una eficiencia de 92% (GM a, 2001), por lo que la eficiencia total es de 60% x 92% x 97.5% x 97.5% = 52.5%.

Tomando en cuenta ambas efciencias, la correspondiente al vehículo eléctrico es de 2.18 x 52.5% = 1.14 Km/MJ, lo cual equivale a dos veces la eficiencia del Prius de Toyota.

3.4.4. Automóviles con celdas de combustible

Aun cuando todavía se encuentre en fase experimental, es posible comparar ambas tecnologías. Dado que el hidrógeno no existe en estado natural, excepto como parte de un compuesto más complejo tal como gas natural o agua, la forma más eficiente de producir grandes cantidades del mismo es a través de reformar gas natural. Para plantas de construcción reciente, la eficiencia en la obtención del hidrógeno, incluyendo generación, transporte y compresión, se estima entre 52% y 61% (GM b, 2001).

Como se puede apreciar en la Tabla 3.5, el límite máximo de eficiencia para este tipo de celdas es del 50% y dado que la energía de salida es electricidad, podemos estimar su eficiencia en 2.78 Km/MJ, idéntica a un vehículo eléctrico. De esta manera, la eficiencia total sería de 2.78 x 50% x 61% = 0.85 Km/MJ.

Varias compañías han producido vehículos a base de celdas de combustible para exposiciones y como parte de su línea de investigación, siendo a veces calificados de acuerdo con los estándares de emisiones de la EPA[71]. Un vehículo en particular, el FCX de Honda, obtuvo 49 millas por kilogramo, equivalente a 80.5 kilómetros por kilogramo.

El contenido energético del hidrógeno puro es de 141.9 MJ/Kg (Bossel b, 2003), lo que da una eficiencia total del vehículo de 0.57 Km/MJ. Si se calcula la eficiencia total, o *well to Wheel* del Honda FCX, se tiene una eficiencia de 0.57 x 61% = 0.35 Km/MJ, lo cual es sorpresivamente bajo.

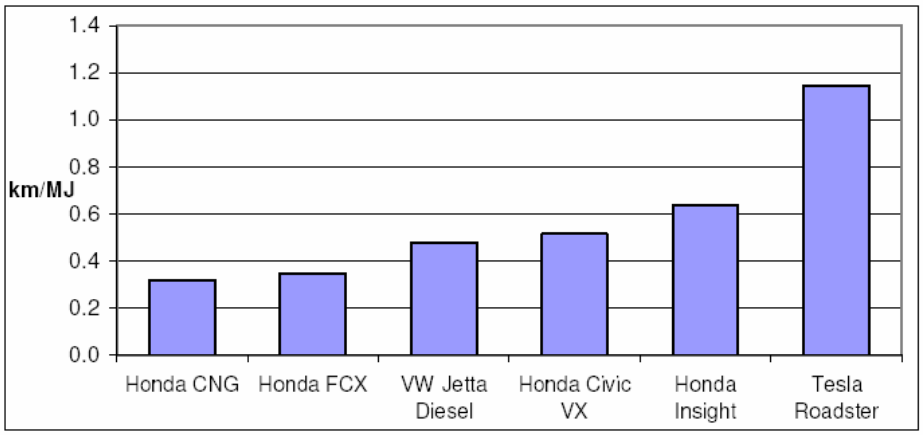
[71] *EPA: Environmental Protection Agency.*

La obtención del hidrógeno también ha sido propuesta mediante electrólisis del agua, el cual es un proceso con un 22% de eficiencia (GM c, 2001), por lo que la eficiencia estimada de un vehículo a base de celdas de combustible sería de 2.78 x 50% x 22% = 0.30 Km/MJ y la del FCX de Honda sería de 0.57 x 50% x 22% = 0.12 Km/MJ. Comparativamente, eso es menos eficiente que un Porsche Turbo[72]. De esta manera, obtenemos el resultado siguiente (Tabla 3.7 y Figura 3.18).

Tabla 3.7 Comparativo entre diferentes fuentes energéticas automotrices.

Tecnología	Automóvil muestra	Combustible	Eficiencia *well to station*[73]	Eficiencia de vehículo	Eficiencia del vehículo (Km/MJ)	Eficiencia *well to Wheel*[74] (Km/MJ)
Motor a gas natural	Honda CNG	Gas Natural	86%	35 MPG	0.37	0.32
Celda de hidrógeno	Honda FCX	Gas Natural	61%	64 m/kg	0.57	0.35
Motor Diesel	VW Jetta Diesel	Petróleo	90.1%	50 MPG	0.53	0.48
Motor a Gasolina	Honda Civic VX	Petróleo	81.7%	51 MPG	0.63	0.51
Híbrido	Hinda Insight	Petróleo	81.7%	63 MPG	0.78	0.64
Eléctrico	Tesla Roadster	Gas Natural (indirecto)	52.5%	110 Wh/km	2.18	1.14

Fuente: Investigación propia.



Fuente: Investigación propia.

Figura 3.18 Sistema eléctrico de potencia basado en celdas de metanol directo[75].

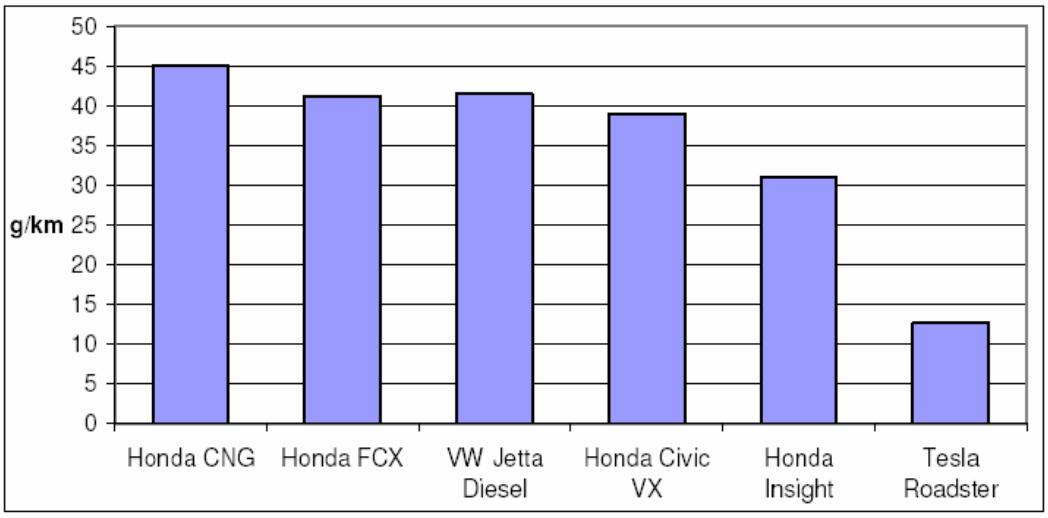
[72] Este vehículo está diseñado para tener altas prestaciones y poca eficiencia energética. Un vehículo menos eficiente que este debería ser más veloz, cosa que no ocurre en esta comparación.
[73] Eficiencia total del energético menos su extracción y transporte.
[74] Eficiencia neta del energético, expresada en términos automovilísticos.
[75] Tecnología disponible actualmente para vehículos autopropulsados.

El análisis de emisiones también puede llevarse a cabo, si se asume una combustión perfecta. El petróleo tiene un contenido de dióxido de carbono de 0.07164 gramos por watt-hora y el gas natural de 0.05184, respectivamente (ORNL, 2007). La tabla 3.8 y la Figura 3.19 detallan más a fondo las características observadas.

Tabla 3.8 Comparativo de emisiones de CO_2 entre diferentes fuentes energéticas automotrices.

Tecnología	**Automóvil muestra**	**Combustible**		**Eficiencia *well to Wheel* (Km/MJ)**	
			Contenido CO_2 (g/MJ)	Eficiencia	Emisiones CO_2 (g/km)
Motor a gas natural	Honda CNG	Gas Natural	14.4	0.32	45
Celda de hidrógeno	Honda FCX	Gas Natural	14.4	0.35	41.1
Motor Diesel	VW Jetta Diesel	Petróleo	19.9	0.48	41.5
Motor a Gasolina	Honda Civic VX	Petróleo	19.9	0.51	39
Híbrido	Honda Insight	Petróleo	19.9	0.64	31.1
Eléctrico	Tesla Roadster	Gas Natural (indirecto)	14.4	1.14	12.6

Fuente: Investigación propia.



Fuente: Investigación propia.

Figura 3.19 Emisión de CO_2, con los valores reales más eficientes en el mercado.

Conclusiones

El estudio de los sistemas de transporte autopropulsados eléctricamente permite prever que el motor a gasolina dejará de existir algún día, pero no así su infraestructura; las tecnologías más prometedoras son las que permiten una interacción entre el estilo de vida que se ha logrado con la gasolina – trayectos largos, tiempos de recarga cortos y grandes prestaciones – a la vez que la infraestructura actual no permite un cambio radical en su diseño.

El afán por pretender duplicar el sistema energético actual, ha llevado a procesos intermedios como los automóviles híbridos o las celdas de combustible de metano, las cuales reducen considerablemente las emisiones de GEI, pero no cumplen el objetivo principal para el que fueron diseñados originalmente, el cual es eliminar totalmente esos gases.

La tecnología eléctrica es muy prometedora, pero no dejará de ser más que una simple novedad si no se le trata con la prioridad necesaria. Aún a pesar de los logros realizados en este campo, el costo de los materiales necesarios para su fabricación sigue siendo la principal limitante, la cual no ha cambiado en 100 años, ni cambiará mientras siga existiendo petróleo.

La reinvención del automóvil eléctrico, con modelos deportivos de alto desempeño, ha probado ser una alternativa al mercado tradicional de combustión interna; sin embargo, con precios tan elevados del mismo, es de esperarse que sólo un cierto segmento de la población pueda adquirirlos. De cualquier manera, es un paso en la dirección correcta, ha quedado demostrado con las decenas o centenares de compañías que realizan conversiones eléctricas a automóviles originalmente a gasolina, por lo que el interés actual por los automóviles eléctricos está resurgiendo.

De manera similar a los biocombustibles en Brasil o en Estados Unidos, es necesario realizar un análisis completo del ciclo de vida. El hidrógeno como combustible podrá ser muy limpio, pero no así su forma de obtención y su transformación hasta energía eléctrica que lo convierte en un proceso poco eficiente, por lo que es poco probable que la tecnología automotriz se dirija a ese horizonte en el corto plazo. Si nos dirigiéramos hacia una

economía basada en hidrógeno, se generaría una gran oferta por petróleo, lo cual reduciría su precio, repitiendo el ciclo.

En términos prácticos, resulta más factible utilizar la infraestructura eléctrica existente en el mundo que crear una nueva infraestructura exclusivamente para un solo tipo de energético, como el hidrógeno, al menos en el corto plazo. Las repercusiones ambientales serían mínimas, puesto que no se requerirían plantas adicionales debido al esquema de recarga sugerido. Sin embargo, se daría origen a la siguiente pregunta: ¿De dónde provendría la energía suficiente para satisfacer ambos sectores, sin afectarse mutuamente?

En el siguiente capítulo se examinarán más a fondo las experiencias ganadas por la utilización de la energía eléctrica en el sector del autotransporte en EUA, la Comunidad Europea y Japón.

Capítulo 4

Utilización de la Energía Eléctrica en el Sector Transporte en el Mundo

Introducción

En capítulos anteriores se ha podido diferenciar entre la investigación tecnológica y su verdadero alcance; entre la dependencia global de un energético asequible, fácil de transportar y la competencia real en el campo gubernamental y económico.

Para el desarrollo de este capítulo, se tratará un punto de vista ligeramente distinto. Salvo la única excepción del hidrógeno puro, la obtención de energía eléctrica no requiere un elaborado sistema de distribución y su producción es automática, inmediata y suficiente.

De esta manera, se estudiarán los incentivos actuales encaminados a una utilización extensiva de la energía eléctrica, haciendo énfasis en su uso final como 'combustible' y no a las plantas eléctricas donde es generada. De esta manera, se pretende destacar las medidas tomadas por tres países, o regiones, representativos: Estados Unidos, la comunidad europea y Japón, como parte de un contingente para economizar recursos y desarrollar planes sostenibles a largo plazo.

La primer parte del capítulo tratará las políticas relacionadas con su uso en Estados Unidos, la legislación correspondiente y la demanda actual de productos relacionados.

La segunda parte del capítulo tratará los mismos asuntos, pero con respecto a la comunidad europea.

La tercera parte involucrará a Japón, un país importador de petróleo que desde hace varios años ha apostado por tecnologías alternativas como celdas de combustible y es el principal productor de vehículos de tecnología híbrida en la actualidad.

Finalmente, de manera muy similar al capítulo dos, se realizará un comparativo entre las diversas políticas y se destacarán puntos clave en cada sector, país y tecnología.

4.1. Estados Unidos

Como se ha comentado en capítulos anteriores, Estados Unidos se caracteriza por poseer una infraestructura carretera diseñada expresamente para ser explotada en automóvil. A diferencia de otros países industrializados, el desarrollo de autopistas interestatales fue planeado para converger en las ciudades, lo cual promovió el uso del automóvil para llegar a localidades remotas donde el costo de la tierra es menor.

Las grandes distancias y los embotellamientos son característicos en las ciudades, generando un consumo de 20,730 millones de barriles de petróleo cada día (World Factbook, 2007), siendo así el país más dependiente del hidrocarburo, incluso más que la comunidad europea en todo su conjunto.

Irónicamente, es también en Estados Unidos donde se realiza gran parte de la investigación concerniente al uso de sistemas eléctricos y de energía alternativa. Desde pequeños carros de golf adaptados para su funcionamiento urbano en la isla de Catalina, en California, hasta la reducción obligatoria de emisiones de GEI de acuerdo con el *Energy Policy Act* del 2005.

La lejanía entre centros urbanos, particularmente en los estados del centro-suroeste, aunada a una escasa infraestructura de transporte público, ha fomentado un uso extendido del automóvil como único medio de transporte. Recientemente, debido a una escasez en los recursos naturales, como en el desértico California, se puede observar un interés por desarrollar alternativas a esta problemática y en la actualidad existen individuos y compañías cuya finalidad es realizar conversiones a carros de golf, así como vehículos convencionales, para funcionar eléctricamente.

A continuación se desarrollará a detalle la política que se maneja en este rubro.

4.1.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular.

4.1.1.1. Federal Tax Credit

a) Descripción

Como parte de la política pro-ambiental del *clean air act* en EUA, los automóviles híbridos son elegibles para un descuento, el cual es estimado de acuerdo a las características de eficiencia y emisiones contaminantes.

A raíz del aumento en el precio de los combustibles, la venta de automóviles híbridos en Estados Unidos aumentó considerablemente, obligando una nueva reforma en este sector.

b) Principales disposiciones

Hasta antes del 1 de enero del año 2006, los subsidios eran otorgados directamente en la concesionaria para compensar la diferencia de precio entre un vehículo convencional y un vehículo híbrido. Sin embargo, dado el gran éxito que ha ocasionado esta tecnología en ese país, a partir de esa fecha, la modalidad ha cambiado, reduciéndose drásticamente.

Tras revisar la tendencia en ventas del primer trimestre del año 2007, el IRS[76] ha declarado reducir considerablemente este subsidio. El subsidio varía desde $250 dólares hasta $4,000 dólares y el organismo responsable de establecer su tasa es el ACEEE[77], el cual ha publicado la siguiente lista a modo de referencia (Tabla 4.1):

[76] *IRS. Internal Revenue Service.*
[77] *ACEEE: American Council for an Energy Efficient Economy.*

Tabla 4.1 Vehículos que clasifican para el *Tax Credit* otorgado por el IRS.

Marca	Modelo	Tipo de combustible	Clase de vehículo	MPG	Subsidio total
Chevrolet/GMC	Silverado 2WD	Híbrido	Pick-up	18	$250
Chevrolet/GMC	Silverado 4WD	Híbrido	Pick-up	17	$650
Ford	Escape 2WD	Híbrido	SUV	36	$2,600
Ford	Escape 4WD	Híbrido	SUV	33	$1,950
Honda	Accord	Híbrido	Automóvil	25	$650
Honda	Civic GX	GNC	Automóvil	30	$4,000
Honda	Civic	Híbrido	Automóvil	49	$2,100
Honda	Insight	Híbrido	Automóvil	57	$1,450
Lexus	RX 400h 2WD	Híbrido	SUV	33	$2,600
Lexus	RX 400h 4WD	Híbrido	SUV	31	$2,200
Mercury	Mariner	Híbrido	SUV	33	$1,950
Toyota	Highlander 2WD	Híbrido	SUV	33	$2,600
Toyota	Highlander 4WD	Híbrido	SUV	31	$2,200
Toyota	Prius	Híbrido	Automóvil	60	$3,150

Fuente: ACEEE (2006).

Este subsidio es vigente hasta el año 2009, es otorgado al fabricante de automóviles, quien a su vez lo refleja en el precio final y funciona de la siguiente manera: Desde el primer trimestre de año 2006, hasta el trimestre en el cual el fabricante haya vendido 60,000 automóviles híbridos, el subsidio otorgado es del 100%. Dicho subsidio se mantiene por el trimestre consecutivo inmediato y a los dos trimestres consecutivos disminuye al 50%. Los dos trimestres consecutivos a ello, el subsidio disminuye a 25% y finalmente se reduce a cero en el siguiente trimestre.

c) Metas

Con esta medida, lo que se pretende es incentivar a la gente a adquirir un vehículo híbrido y el esquema de subsidios los motiva aún más a adquirirlo lo antes posible para disfrutar de mayores beneficios.

4.1.1.2. Programa HFC

a) Descripción

Bajo el nombre de "*Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technology Program*", una gran parte de la investigación concerniente al campo del hidrógeno y celdas de combustible se desarrolla bajo la supervisión de los Departamentos de Energía, Departamentos de la Defensa y Departamentos de Protección al Ambiente, de Estados Unidos.

b) Principales disposiciones

Con un presupuesto de 144 millones de dólares en el año fiscal 2004, las agencias del gobierno proporcionaron los fondos necesarios en áreas riesgosas de investigación en sus primeras etapas con la finalidad de permitir al sector privado tomar decisiones sobre cómo y en qué medida dicha tecnología podía ser aplicada.

c) Metas

La principal meta del gobierno es extender recomendaciones en la política energética nacional, el plan estratégico del Departamento de Energía y el *National Hydrogen Energy Vision and Roadmap.*

4.1.1.3. PROGRESS[78] Act H.R. 1300

a) Descripción

Esta iniciativa, aun en legislación en octubre de 2007, fue presentada por el Senador Demócrata Hoyer y pretende promover un programa consistente en un esfuerzo conjunto de colaboración entre la industria, el gobierno y las instituciones de educación superior para investigar, desarrollar y demostrar actividades de índole comercial referentes a vehículos de alta eficiencia.

[78] *PROGRESS: Program for Real Energy Security*

El programa incluye un análisis de motores, embragues, sensores, controladores, sistemas de enfriamiento, tecnologías de combustión variable, sistemas *flex-fuel* y *dual-fuel*, vehículos híbridos y eléctricos, componentes y accesorios para vehículos eléctricos y baterías.

b) Principales disposiciones

En la subsección II, sección 203 de dicho documento, se establece lo siguiente: tras la aprobación de la ley, se deberá conjuntar un equipo responsable de la supervisión de avances en el campo de la energía renovable; más particularmente, etanol, vehículos eléctricos e hidrógeno. Todo esto, con la finalidad de:

- Revisar el progreso y la prospectiva para cada tecnología en aras de un aumento en la eficiencia energética.
- Trabajar en conjunto con el gobierno federal, la industria automotriz y la *Partnership for a New Generation of Vehicles*, para proporcionar los recursos necesarios para incrementar dramáticamente la eficiencia para el año 2017.
- Proporcionar incentivos adicionales a instituciones de educación superior, laboratorios nacionales, pequeñas empresas e investigadores.

c) Metas

La principal meta es la creación de un centro de investigación, llamado *New Manhattan Research Center*, para promover la investigación en todo tipo de energía renovable. Si bien esta iniciativa se enfoca en vehículos híbridos y biocombustibles, es la primera en mencionar la necesidad de los avances requeridos en investigación de baterías de Li-ión, ya sea sobre incrementar su eficiencia, abatir su costo, o diseñar un programa de financiamiento de baterías para amortizar su costo.

4.1.1.4. Estándar CAFE[79]

a) Descripción

Puesta en marcha en 1975, entró en vigor como consecuencia del embargo petrolero de 1973 y cuya finalidad fue incrementar la eficiencia de los automóviles y vehículos livianos vendidos en Estados Unidos. Esta cifra, expresada en millas por galón, o MPG, es cuantificada mediante un promedio de economía de combustible de la flota total de todos los fabricantes cuyos vehículos no excedan 8,500 libras, o 3,856 kilogramos (Kuik, 2006).

Aún cuando esta medida no apoye directamente a los vehículos eléctricos, sí ofrece un incentivo a medida que se eleva el rendimiento de combustible.

Esta medida, puesta en marcha en el *Energy Policy Act* de 1975, establece una eficiencia mínima de automóviles particulares, vehículos utilitarios y camiones pequeños, so pena de incurrir en multas.

b) Principales disposiciones

Todos los vehículos cuyo peso sea menor a 8,500 libras deberán cumplir con la normativa CAFE, la cual es actualmente de 27.5 MPG para vehículos livianos y 20.7 MPG para vehículos utilitarios y camiones livianos. Los vehículos mayores a 85,00 libras se encuentran exentos de tal medida por ser considerados como vehículos de uso comercial.

La NHTSA[80] es la encargada de regular tal medida y la EPA mide la eficiencia del vehículo. Los valores de CAFE se establecen de acuerdo a cuatro principios:

- Posibilidad tecnológica.
- Practicidad económica.
- Efecto y uso de otros estándares en economía de combustible.
- Necesidad del país de ahorrar energía.

[79] *CAFE: Corporate Average Fuel Economy*
[80] *NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration.*

En caso de que un fabricante determinado no cumpla con el mínimo requerido, se establece una penalización, la cual corresponde a $5.50 dólares por 0.1 MPG por debajo del estándar, multiplicado por la producción total de vehículos para el mercado local. Evidentemente, ciertas compañías nunca cumplen tal estándar, pero prefieren pagar la multa cada año antes de perder ventas debido a una pérdida en potencia como consecuencia de aumentar la eficiencia de sus vehículos.

Actualmente se discute la posibilidad de aumentar el CAFE a 35 MPG, cifra que muy pocos vehículos podrán sostener y se prevé un aumento gradual hasta el año 2025. Esta propuesta se encuentra actualmente en revisión (Wert, 2007).

c) Metas

De aprobarse el nuevo estándar, se obligaría a las compañías manufactureras a "aumentar su eficiencia o morir en el intento". Evidentemente, no es una solución muy popular entre el sector automovilístico, ya que favorecería principalmente a fabricantes de vehículos pequeños y eficientes; en otras palabras, fabricantes extranjeros.

4.1.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público.

4.1.2.1. FreedomCAR Fuel Partnership[81]

a) Descripción

Puesta en marcha en el año 2002 por el departamento de energía de EUA, la cooperación conjunta con el USCAR [82], en representación de las compañías ensambladoras de automóviles, promueve el desarrollo de tecnologías basadas en celdas de combustible en Estados Unidos.

[81] La finalidad de este programa es integrar el mercado particular con el mercado público, pero dado que las celdas de combustible aún son prohibitivamente caras y por lo tanto no disponibles comercialmente a particulares, el programa se menciona en esta sección.
[82] *United States Council for Automotive Research.*

b) Principales disposiciones

La investigación de *FreedomCAR* desarrolla y regula los siguientes rubros:

- Análisis de sistemas integrados.
- Sistemas de potencia de celdas de combustible.
- Sistemas de almacenamiento de hidrógeno.
- Producción de hidrógeno y tecnologías de suministro.
- Sistemas de propulsión eléctrica para vehículos híbridos eléctricos.
- Componentes electrónicos.
- Costo y disponibilidad de la tecnología.

c) Metas

La meta principal es acelerar el proceso de adopción de tecnologías avanzadas en la integración de celdas de combustible en el transporte. Para alcanzar este objetivo, más de 36 estados en EUA tienen algún tipo de incentivo, tales como subsidios, reembolsos, becas y otros programas innovadores y dado que cada estado tiene leyes particulares distintas, no existe una manera uniforme de describir y nombrar a sus programas. Algunos estados nombran explícitamente a sus programas de incentivos como "*fuel cell vehicle*", pero los incluyen dentro de normas al utilizar términos como vehículos de combustible alternativo, vehículo de bajas emisiones, vehículo de cero emisiones, combustible limpio, combustible de hidrógeno y otros.

4.1.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico

4.1.3.1. Particular

El incentivo otorgado por el IRS para sistemas de transporte híbrido fue ampliamente aprovechado, razón por la cual la marca de vehículos híbridos de mayor presencia en ese país, Toyota, oficialmente llegó al límite de producción de 60,000 vehículos en junio del

2006. El incentivo ha disminuido de acuerdo con el patrón establecido, por lo que después de septiembre del año 2007 éste dejará de existir.

Sin embargo, el uso de vehículos híbridos no ha disminuido y más de 187,000 vehículos han sido vendidos tan solo en el primer trimestre del año 2007, representando un 2.7% en ventas de vehículos nuevos (JD Power and Associates). Una vez más, el vehículo mejor posicionado en el mercado continúa siendo el Prius, de la marca japonesa Toyota, pero se espera una reducción tras el cese del incentivo.

En la actualidad, se puede adquirir un vehículo híbrido de parte de Saturn, Ford, Honda, Nissan, Lexus y Toyota, con una adición en el futuro de Chevrolet, GMC y Mazda.

4.1.3.2. Público

En el ramo público, el vehículo híbrido ha incursionado en Nueva York, ya que por decreto oficial se ha ordenado que toda la flota de taxis en esa ciudad sean híbridos para el año 2012, como parte de una medida para reducir la contaminación ambiental.

Actualmente, Nueva York cuenta con 13,000 taxis aproximadamente, de los cuales solamente 375 operan con motores híbridos, cifra que incrementará a 1,000 vehículos híbridos para octubre del año 2008, con un aumento gradual de 3,000 vehículos cada año a partir de ese año. Michael Bloomberg, el alcalde de esa ciudad, podría convertirla en la flotilla más limpia de taxis en el mundo.

Para realizar tal medida, la transición de energía convencional a híbrida ocurrirá en etapas de 5 años, a medida que los vehículos son paulatinamente retirados de circulación. Esto puede crear controversia, puesto que sólo se permitirá adquirir taxis híbridos en esa ciudad.

En lo referente a autobuses de celdas de combustible, la NFCBTI[83] ha anunciado una coalición entre usuarios y proveedores de celdas de combustibles e hidrógeno, la cual incluye a compañías como *AC Transit, Ballard, Boeing, Hydrogenics, ISE Research,*

[83] *NFCBTI: National Fuel Cell Bus Technology Initiative.*

Quantum Technologies, Sunline Transit, Texaco Ovonic Hydrogen Systems y el distrito metropolitano de transporte de Oregon.

El *California Fuel Cell Partnership* coordina el envío de autobuses de celdas de combustible en las agencias de tránsito, todas ellas de carácter público y envió tres autobuses a *Santa Clara Valley Transportation Authority*, quien ha destacado su deseo de convertir su flotilla de autobuses a celdas de combustible tan pronto como sea económicamente viable.

4.2. Comunidad Europea

A raíz de la crisis petrolera de la década de los 70's, en Europa se tomó un serio interés por los vehículos eléctricos, especialmente los franceses quienes también se dedicaron a desarrollar tecnología para reactores nucleares y trenes de alta velocidad. Para mediados de 1990, había varias decenas de automóviles eléctricos operando en Francia, con pequeñas cantidades a través de todo el continente.

Con el paso del tiempo, esa cantidad se vio drásticamente reducida; sin embargo, la investigación continuó a lo largo del continente, resurgiendo en países como Noruega o Italia.

4.2.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular.

4.2.1.1. CIVITAS[84]

a) Descripción

Esta iniciativa se divide en dos etapas. La primera, CIVITAS I, surgió en el año 2002, con la participación de 19 ciudades europeas y 4 proyectos demostrativos. La segunda, CIVITAS II, surge en el año 2005, con la participación adicional de 17 ciudades europeas.

Con un presupuesto de aproximadamente €300 millones de euros, CIVITAS surge como un medio de comunicación entre la iniciativa pública y privada para promover e implementar medidas de transporte urbano eficientes y limpias, a la vez que se construyen nuevos mercados para la gente común y se fomenta la innovación tecnológica.

b) Principales disposiciones

CIVITAS es coordinado por cada ciudad afiliada al programa. Se trata de un programa de ciudades, para ciudades, por lo que las disposiciones dependen de cada ciudad.

[84] *CIVITAS: City Vitality Sustainability.*

Los temas a discutir y evaluar, sin embargo, suelen ser muy similares, entre los que se pueden destacar la investigación en lo referente a biocombustibles, celdas de combustible, vehículos híbridos y de energía eléctrica.

Un país muy beneficiado con este programa es Suecia, donde la gran mayoría de sus proyectos ambientales son financiados por la comunidad europea y han avanzado considerablemente (Figura 4.1).



Fuente: Neij (2004)

Figura 4.1 Bomba despachadora en Estocolmo, Suecia.

c) Metas

De manera adicional, CIVITAS trabaja en conjunto con otros proyectos, entre los que se destacan:

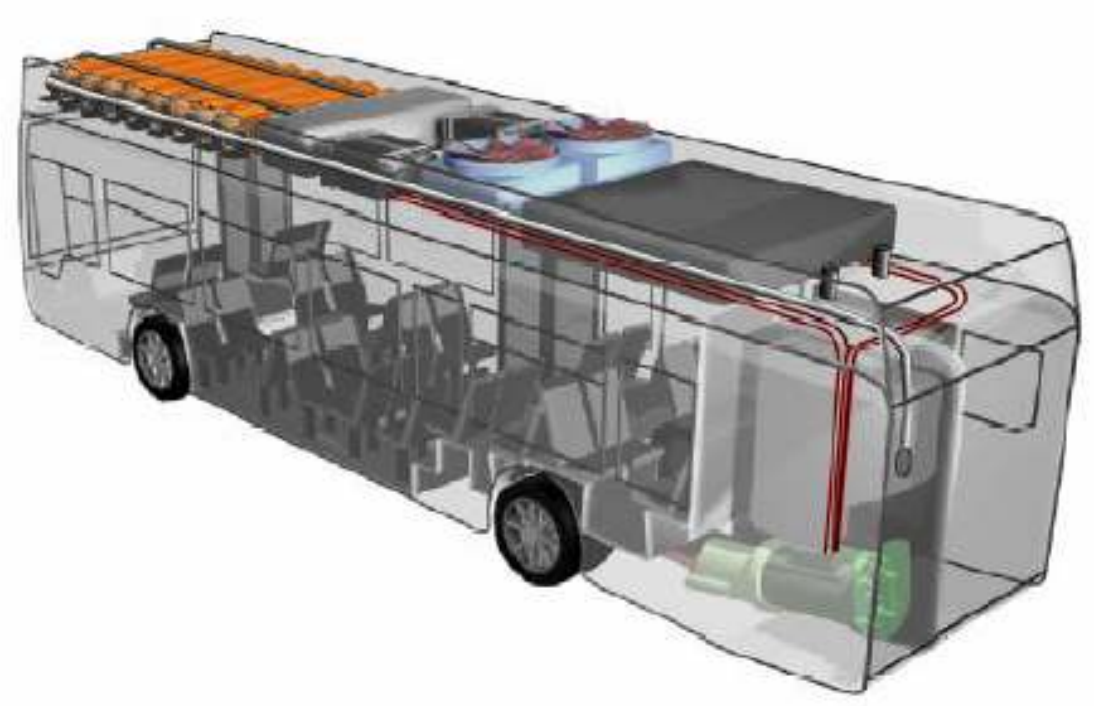
- *Trendsetter*, un proyecto destinado a discutir problemas de tránsito en cinco ciudades europeas, así como eliminar ciertos obstáculos en el mercado hacia vehículos más eficientes.
- *Moses*, un proyecto con siete ciudades en donde busca incrementar el número de pasajeros por vehículos.
- CUTE, un ambicioso programa de celdas de combustible en autobuses de transporte público, del cual se hablará a continuación.

4.2.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público.

4.2.2.1. CUTE[85]/ECTOS[86]

a) Descripción

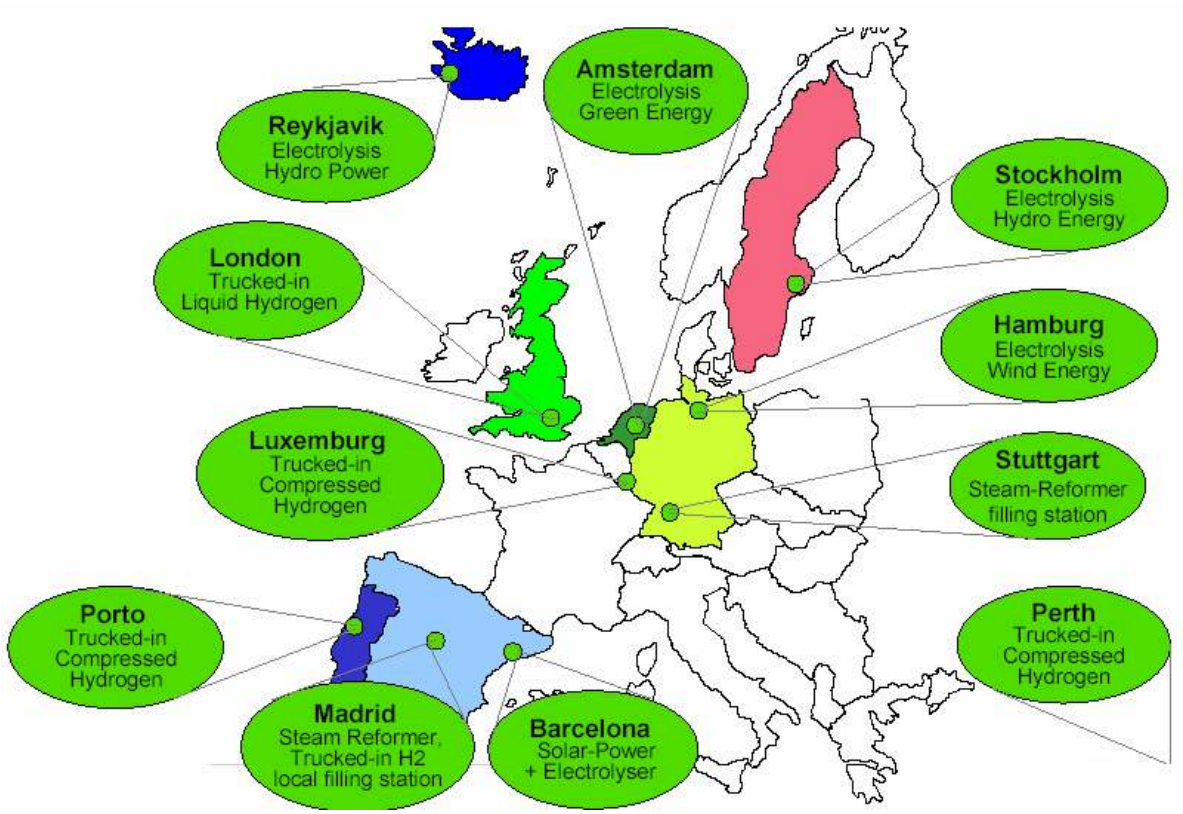
Estos programas, puestos en marcha por la IEA [87] en el año 2002, involucran demostraciones de 33 autobuses DaimlerChrysler de celdas de combustible (Figura 4.2) en diez ciudades europeas y una en Australia, así como el *R&D*[88] necesario en el ramo de transporte público, aerodinámica y eficiencia de combustibles (Figura 4.3).



Fuente: Grubel (2005)

Figura 4.2 Diseño básico de un autobús con celdas de combustible.

[85] *CUTE: Clean Urban Transportation for Europe.*
[86] *ECTOS: Ecological City Transport System.*
[87] *IEA: International Energy Agency*
[88] *R&D: Research and Development.*



Fuente: Grubel (2005)

Figura 4.3 Países involucrados en el programa CUTE/ECTOS

b) Principales disposiciones

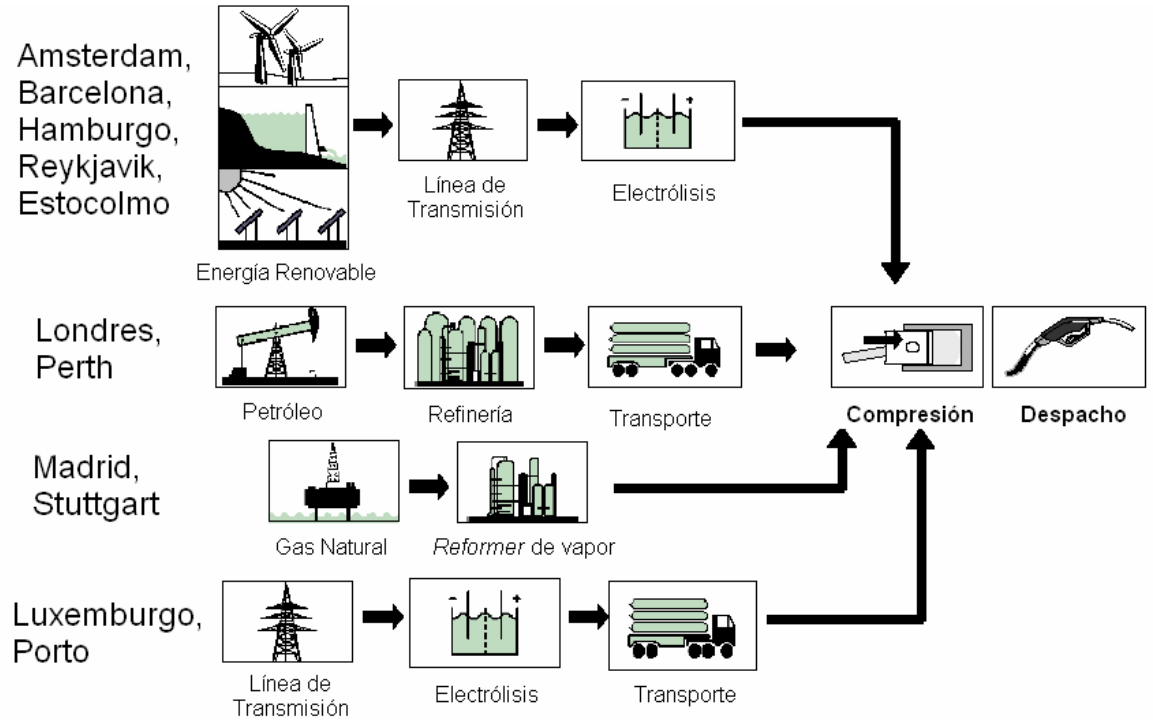
El programa CUTE realiza pruebas y demostraciones de autobuses con celdas de combustible para transporte público y reúne a la comunidad europea para promover la cooperación CBT[89], así como la aceptación de la nueva tecnología y el uso de hidrógeno como combustible.

Se establece tanto el origen de la energía primaria como el proceso de obtención del hidrógeno (Figura 4.4):

- Electricidad de fuentes renovables como energía eólica, presas hidroeléctricas y energía solar en Ámsterdam, Barcelona, Hamburgo, Reykiavik y Estocolmo.
- Petróleo en Londres y Perth.

[89] *CBT: Cross Border Technology.*

- Gas Natural en Madrid y Stuttgart.
- Electricidad en las líneas de transmisión en Oporto y Luxemburgo.



Fuente: Grubel (2005 c)

Figura 4.4 Participación, por ciudad, en el programa CUTE/ECTOS.

c) Metas

En Marzo del año 2005, se realizó un diagnóstico sobre las metas alcanzadas. Se analizaron varios rubros principales.

- Autobuses

Durante los dos años de prueba, se pudo corroborar una distancia recorrida acumulada de más de 800,000 kilómetros, lo que equivale a 1.3 veces la distancia entre la tierra y la luna.

- Infraestructura

Aproximadamente 100 toneladas métricas de hidrógeno habían sido consumidas, la mitad de ellas obtenidas *in situ*.

Se destacó también la cooperación internacional, asegurando un suministro confiable de hidrógeno.

- Cooperación europea

Más de cuarenta compañías e instituciones se habían involucrado con el proceso, con ayuda de financiamiento público.

- Aceptación

Aproximadamente 2.5 millones de personas han utilizado el servicio con una experiencia positiva.

Miles de personas han visitado las estaciones de suministro de hidrógeno, creando expectativa.

Gracias al programa, se han podido destacar problemas clave que irremediablemente surgirían como producto de su utilización extensiva, como son:

- Producción de H_2

1) El electrolizador es confiable en la mayoría de los casos, salvo problemas con la durabilidad de los materiales. Por el momento, el abastecimiento automático de hidrógeno a vehículos sin presencia humana es imposible ya que depende de muchos factores externos.
2) Los prototipos actuales de *reformers* de vapor poseen diferencias geométricas que no permiten una adaptación inmediata. Problemas con los materiales han ocasionado tiempo no operativo excesivo, por lo que es necesario trabajar más en esa área.

- Calidad de H_2

1) El uso de vehículos con media carga de combustible no siempre es recomendable y depende de la calidad del hidrógeno.

2) Existe una tolerancia mínima a impurezas en el combustible.
3) La calidad del hidrógeno es difícil de monitorear durante la operación.
4) Fuentes externas de suministro de hidrógeno son susceptibles de contaminación por monóxido de carbono.

- Bomba de recarga

1) Misma tecnología que la utilizada para gas natural comprimido, el resultado es satisfactorio.
2) Algunas unidades ocasionaron ruido excesivo. Como consecuencia, todas las unidades fueron subsecuentemente modificadas por el fabricante para evitar ese problema.
3) Algunos sitios operaban a presiones más bajas que las establecidas. No se reportó ningun problema al respecto.

4.2.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico

4.2.3.1. Particular

El uso de vehículos híbridos en la comunidad europea se encuentra a la alza, con una disposición de 30.7% de la gente dispuesta a comprar un vehículo híbrido. Las ventas europeas de vehículos híbridos en ese continente aumentan en un promedio de 30 mil unidades por año, lo cual representa un 10% del total de vehículos híbridos en el mundo (Neumann, 2007).

4.2.3.2. Público

De los más de 80 autobuses que funcionan con algún tipo de celda de combustible alrededor del mundo, 30 pertenecen al sistema de transporte público en varias ciudades europeas. Con un rango de potencia de aproximadamente 70 kW a 200 kW. Más del 75% de estos autobuses cuentan con sistemas de almacenamiento de hidrógeno comprimido. El rango de estos autobuses es de 200 a 300 kilómetros, cargan entre 60 y 70 pasajeros y tienen hasta 44 kilogramos de hidrógeno comprimido almacenado a 350 bar.

La utilización de autobuses para la introducción de este tipo de tecnología es muy favorable, puesto que el reabastecimiento se concentra en puntos estratégicos, lo cual hace más sencilla la planeación. Adicionalmente, el uso promedio de un autobús es de 60,000 kilómetros por año, comparado con los 20,000 kilómetros de un automóvil, lo cual ayuda a compensar más rápidamente el elevado costo, el cual puede ascender a más del doble que un autobús convencional de diesel (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Comparativo entre tecnologías de autobuses para el programa CUTE/ECTOS.

Tecnología	Costo (USD/autobús)	Costo adicional (USD/autobús)
Diesel convencional	$500,000	-
Diesel híbrido	$600,000 - $630,000	$100,000 - $130,000
Gas Natural	$540,000 - $560,000	$40,000 - $60.000
Celda de Combustible (Hidrógeno)	$1,000,000	$500,000

Fuente: Adamson (2004).

4.3. Japón

4.3.1. Programas de apoyo a sistemas de transporte particular.

4.3.1.1. NHP[90]

a) Descripción

Como país miembro de la IEA[91], Japón cuenta con un conjunto de programas para acelerar el proceso de introducción de celdas de combustible en sustitución de vehículos a gasolina. Recientemente, se estima que Japón ha utilizado más de 30 mil millones de yenes, aproximadamente 3 mil millones de pesos, en investigación (Minato, 2005).

b) Principales disposiciones

Este programa integra y regula el desarrollo de celdas de combustible, producción y transporte de hidrógeno, tecnologías de almacenamiento e involucra un ambicioso programa dividido en tres fases principales:

- La primera fase, comprendida entre los años 2002 – 2005, fue basada en la demostración de vehículos, comerciales en apariencia, para dar a conocer la iniciativa. Adicionalmente, se creó una serie de códigos y estándares, así como una versión a pequeña escala sobre la infraestructura requerida.
- La segunda fase, comprendida entre los años 2005 – 2010, marca la introducción de la tecnología, con el desarrollo de un sistema de suministro y una introducción acelerada de vehículos con celdas de combustible.
- La tercera etapa, comprendida a partir del año 2011 en adelante, se enfocará en dar difusión a la tecnología, con el sector privado promoviendo un crecimiento auto-sostenible tanto en el mercado de uso como en distribución de celdas de combustible e hidrógeno.

[90] *NHP: New Hydrogen Project.*
[91] *IEA: International Energy Agency.*

c) Metas

Las metas de este programa para el fin de la etapa de comercialización esperan una producción de 50,000 vehículos de celda de combustible y para el año 2020, la meta es de 5 millones y 4 mil estaciones de hidrógeno. Adicionalmente, se espera un total de 15 millones de vehículos para el año 2030 y 12.5 GW disponibles de celdas de combustible estacionarias.

Se espera que, con el tiempo, se alcance un rango de 800 kilómetros ó 7 kilogramos de hidrógeno por carga y que el costo de la tecnología disminuya hasta lograr un costo de producción de $34 USD/GJ, el cual es el costo actual de la gasolina, con impuestos incluidos.

4.3.1.2. Incentivos

a) Descripción

Dentro del esquema económico en Japón, existe un programa de incentivos denominado *acquisition tax*, mediante el cual se otorga una deducción sobre el precio de compra en vehículos nuevos de tecnología limpia, tales como celdas de combustible, gas natural comprimido, metanol o vehículos híbridos. Este programa fue puesto en marcha en el año 2002 y su última modificación fue en el año 2005.

b) Principales disposiciones

Se otorga un incentivo a quien adquiera vehículos de bajo índice de emisiones, así como a vehículos híbridos y eléctricos, de acuerdo con la Tabla 4.3.

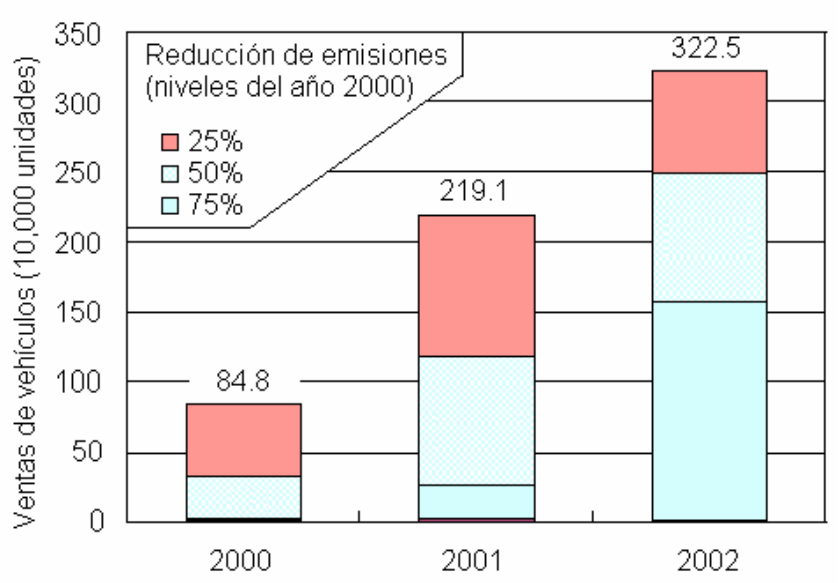
Tabla 4.3 Incentivos otorgados a vehículos nuevos en Japón.

Economía de Combustible	Regulación de Emisiones	Incentivo
Vehículos cuya economía sea igual o superior a valores establecidos para 2010 +5%	Aplica a vehículos nuevos	¥200,000[92] deducible al momento de la compra
Vehículos de energía alternativa		**Incentivo**
Eléctrico[93], gas natural comprimido, metanol y vehículos híbridos[94]		Reducción de 2.7% sobre el precio.
Vehículos híbridos de pasajeros		Reducción de 2.2% sobre el precio.

Fuente: Minato (2005).

c) Metas

Durante el desarrollo del programa, se ha podido observar un cambio favorable hacia vehículos más eficientes, tal como lo muestra la Figura 4.5.



Fuente: Minato (2005 c)

Figura 4.5 Reducción de emisiones gracias a ventas de automóviles híbridos en Japón.

[92] ¥200,000 yen equivalen aproximadamente a $20,000 pesos (2007).
[93] Incluye celda de combustible.
[94] Autobuses y camiones de carga solamente

4.3.2. Programas de apoyo a sistemas de transporte público.

4.3.2.1. Programa JHFC[95]

a) Descripción

Un programa conjunto con el NHP, visto anteriormente, cuya finalidad es probar la eficiencia de los autobuses de celdas de combustible.

b) Principales disposiciones

Trabajando en conjunto con ENAA[96], JARI[97] y METI[98], este programa regula una serie de programas piloto en todo Japón, divididos en tres macroproyectos:

- Sistema urbano en Tokio.
- Feria de la tecnología Aichi 2005.
- Aeropuerto Centrair.

c) Metas

De igual manera que el NHP, los objetivos del programa consisten en identificar y erradicar problemas relacionados con vehículos de celdas de combustible bajo condiciones de operación no controladas, así como desarrollar regulaciones, códigos y estándares.

De manera adicional, se proponen talleres para concientizar a la gente de esta nueva tecnología y sus beneficios en el ahorro energético e impacto ambiental.

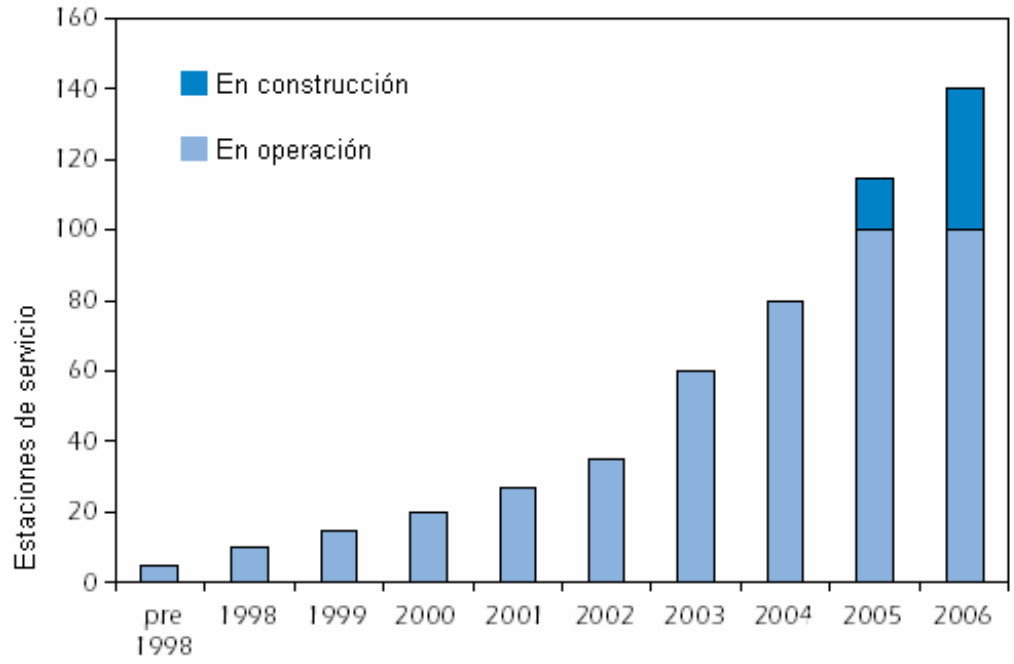
[95] *JHFC: Japan Hydrogen Fuel Cell.*
[96] *ENAA: Engineering Advancement Association of Japan.*
[97] *JARI: Japan Automobile Research Institute.*
[98] *METI: Ministry of Economy, Trade and Industry.*

4.3.3. Demanda actual de sistemas de transporte eléctrico

4.3.3.1. Particular

En el año 2003, Toyota puso a la venta un vehículo experimental de celdas de combustible, con un precio inicial de $10,000 dólares al mes por un período de 30 meses.

Dos años más tarde, un proyecto demostrativo se llevó a cabo en la región de Kanagawa en el año 2005 (METI, 2005). En él se mostraban 60 vehículos de celda de combustible y 10 estaciones de recarga de hidrógeno. Aún cuando el precio de los vehículos seguía siendo prohibitivo, la curva de aprendizaje disminuyó considerablemente la brecha, propiciando un rápido crecimiento en la infraestructura (Figura 4.6).

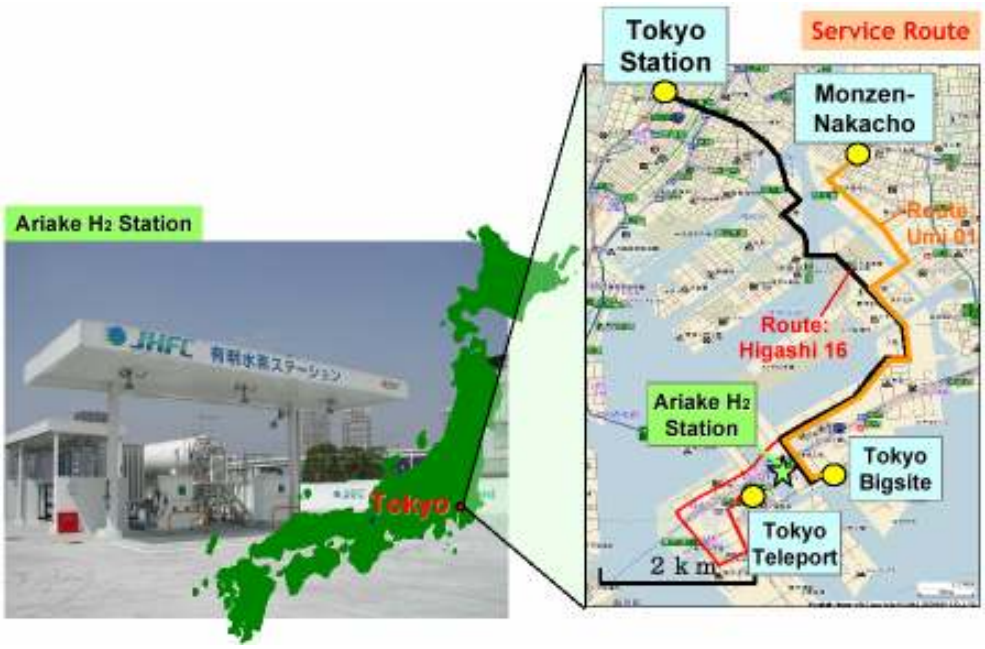


Fuente: Baker (2005)

Figura 4.6 Estaciones de reabastecimiento de hidrógeno en Japón.

4.3.3.2. Público

De agosto de 2003 a diciembre de 2004, se probó un autobús en dos rutas de 15 a 20 kilómetros, con una frecuencia de entre cuatro y cinco viajes ida y vuelta por día (Figura 4.7)



Fuente: Hirano (2006)

Figura 4.7 Estación de recarga y ruta del autobús experimental de la JHFC, en Japón.

Posteriormente, en la feria de Aichi, en el año 2005, se utilizaron y probaron autobuses de celdas de combustible por un periodo de seis meses, de marzo a septiembre de ese año, con resultados favorables (Figura 4.8).



Fuente: Hirano (2006)

Figura 4.8 Estación de recarga y ruta de los autobuses de celdas de combustible utilizados entre Nagakute y Seto, en Aichi, Japón.

Finalmente, desde el año 2005, la tecnología de autobuses con celdas de combustible ha sido probada constantemente en la ruta Tokoname – Chita Handa, como servicio de transporte desde y hacia el aeropuerto central de Japón, cerca de Nagoya (Figura 4.9).



Fuente: Hirano (2006)

Figura 4.9 Autobuses utilizados en el transporte de pasajeros entre Tokoname – Chita Handa, en Japón.

Conclusiones

En términos generales, se pueden apreciar dos corrientes principales. En Estados Unidos, el estilo de vida ha fomentado una introducción mayoritaria en el sector particular mediante vehículos híbridos foráneos y conversiones de vehículos de gasolina a vehículos eléctricos, para fines recreativos en menor medida. En el rubro de transporte público, se aprecia una infraestructura en progreso, mucho menos desarrollada, pero también con una tendencia hacia la tecnología híbrida.

En Europa y Japón, por el contrario, el nicho introductorio es primordialmente el sector público, más particularmente mediante el diseño y uso de autobuses de celdas de combustible, razón por la cual los vehículos híbridos han pasado a segundo plano. En el mercado particular, el desarrollo actual sugiere poca diferencia en la eficiencia de un vehículo híbrido contra un vehículo de celda de combustible, lo cual aunado con la ausencia de infraestructura a una escala nacional mantiene muy limitada esta tecnología.

El desarrollo del vehículo eléctrico depende de un factor denominado la "curva de aprendizaje". La tecnología está disponible, pero el costo de los materiales, principalmente baterías, no le permite comercializarse adecuadamente. Con el paso del tiempo, con el abatimiento de costos, se podrá comenzar a utilizar esta tecnología, definiendo una vez más el futuro del vehículo eléctrico.

El desarrollo de vehículos híbridos ha sido y seguirá siendo, un sector con un crecimiento constante, puesto que es una tecnología perfectamente compatible con la infraestructura actual. Cabe destacar que, de manera similar a los biocombustibles, esta no es una solución que erradique las emisiones de NOx ni CO_2, pues solamente provee una solución en un corto plazo, en lo que se desarrolla alternativamente la infraestructura necesaria para avanzar hacia una economía energética basada en hidrógeno o eléctrica directamente de la fuente.

Las proyecciones actuales indican que tal decisión tomaría lugar a mediados del siglo XXI, fecha para la cual no existirán más vehículos híbridos y los vehículos a gasolina se encontrarán en su última fase. Evidentemente estas proyecciones corresponden a países

miembros de la OECD y aún cuando México se encuentra dentro de tal grupo, es el único país en vías de desarrollo, lo cual puede dificultar el proceso.

En el siguiente capítulo, se verán las proyecciones de uso en el corto y mediano plazo de biocombustibles y energía eléctrica en México, para así poder tener una completa perspectiva general sobre los retos actuales.

Capítulo 5

Perspectivas del uso de la Energía Eléctrica y los Biocombustibles en el Sector Transporte de México al 2030

Introducción

Hasta este momento, se ha analizado la situación del uso de biocombustibles y de la energía eléctrica en el mundo, visto a través de sus principales exponentes, mediante ejemplos y políticas particulares.

Para el desarrollo de este capítulo, se tomarán en cuenta todos los aspectos involucrados en el proceso para un uso tentativo y de aplicación en México, considerando las normativas mexicanas existentes destinadas a incentivar el uso masivo de tecnologías menos contaminantes, tales como el uso de mecanismos de desarrollo limpio, entre otros.

En la primera parte, se tratará la situación actual en México en materia energética para sistemas de autotransporte, tratando cada una de las tres principales fuentes de energía alternativa en la actualidad: el uso de biocombustibles, la energía eléctrica directa de la fuente y el uso potencial del hidrógeno como combustible.

En la segunda parte, se revisarán los incentivos ofrecidos, así como la legislación actual correspondiente.

En la tercera parte, se estudiarán los Mecanismos de Desarrollo Limpio como fuentes complementarias de financiamiento, de acuerdo con el marco regulatorio del Protocolo de Kyoto, así como su liga respectiva con el sector transporte en México.

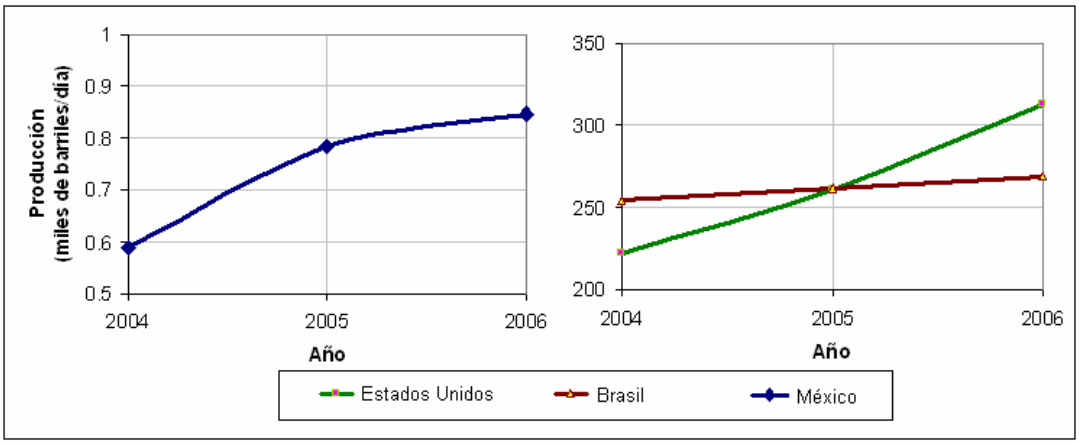
Finalmente, en la cuarta parte, se analizan tres escenarios al año 2030. Una vez más cada escenario corresponde a cada una de las tecnologías más prometedoras en el corto y mediano plazo.

5.1. Situación actual

5.1.1. Biocombustibles

En el periodo de transición hacia nuevas fuentes primarias de energéticos, no cabe duda que los biocombustibles jugarán un papel importante en la política del gobierno mexicano. El plan de gobierno 2006-2030 depende grandemente de este tipo de energético, pero no deja muy claro el tipo de incentivos, si es que se contará con alguno, que se piensan aplicar.

La producción de bioetanol en México fue de nueve millones de galones en el 2004, doce millones en el año 2005 y trece millones en 2006 (CEESP[99], 2007), lo cual equivale a 586, 782 y 847 barriles de petróleo al día, respectivamente. Como nota comparativa, la producción en EUA fue de 3,410 galones (222.4 mbd) en 2004; 4,000 galones (261 mbd) en 2005 y 4,800 galones (313 mbd) en 2006[100]; mientras que Brasil produjo 3,900 galones (254.3 mbd) en 2004; 4,015 galones (261.8 mbd) en 2005 y 4130 galones (269.35 mbd) en 2006, respectivamente (Figura 5.1).



Fuente: Investigación propia.

Figura 5.1 Tabla comparativa de producción de etanol.

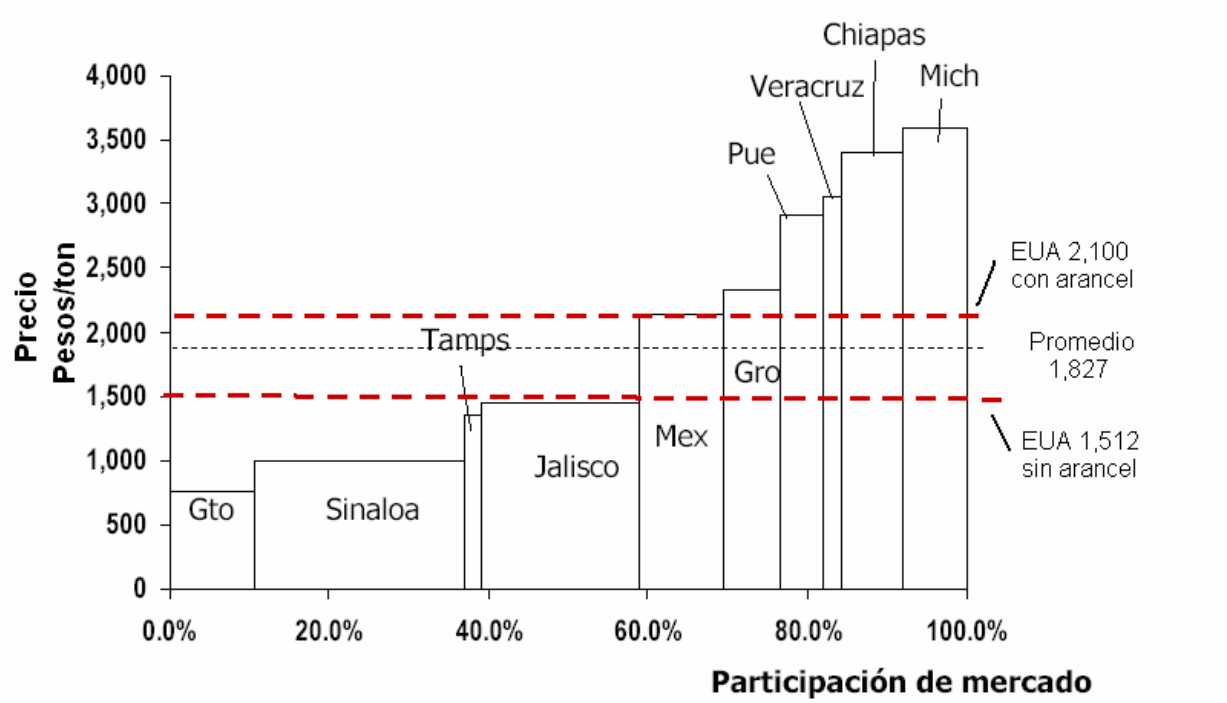
Muy a pesar de la crítica actual sobre el subdesarrollo mexicano en cuestión energética, resulta necesario evaluar las causas que dieron origen a tal situación. Un ejemplo de ello es el proceso burocrático al que se enfrentan los científicos en el momento de presentar un proyecto, y el asunto de biocombustibles no es la excepción.

[99] CEESP: Centro de Estudios Económicos del Sector Privado.
[100] Capítulo 2, página 61.

Eugenio Villacampa, ingeniero mexicano, patentó una fórmula denominada W-6, la cual consistía en un aditivo de origen vegetal, muy similar al etanol. La fórmula, presentada ante ejecutivos de PEMEX desde 1960, nunca tomó la importancia necesaria, por lo que fue desechada.

México es un país con un gran potencial para el desarrollo de biocombustibles. Datos cotejados en capítulos anteriores destacan dos plantaciones por su viabilidad en el corto plazo: el maíz y la caña de azúcar.

Geográficamente, la producción de maíz puede realizarse en cualquier región de México; sin embargo, para considerar valores competitivos que puedan representar una proyección viable, ésta debe concentrarse en regiones del centro-norte de México y noroeste, por lo que la construcción de biorefinerías se realizaría en regiones mayoritariamente áridas mediante esquemas de irrigación artificial. La Figura 5.2 muestra una distribución de regiones para las cuales la siembra de maíz es óptima y puede representar una solución viable.

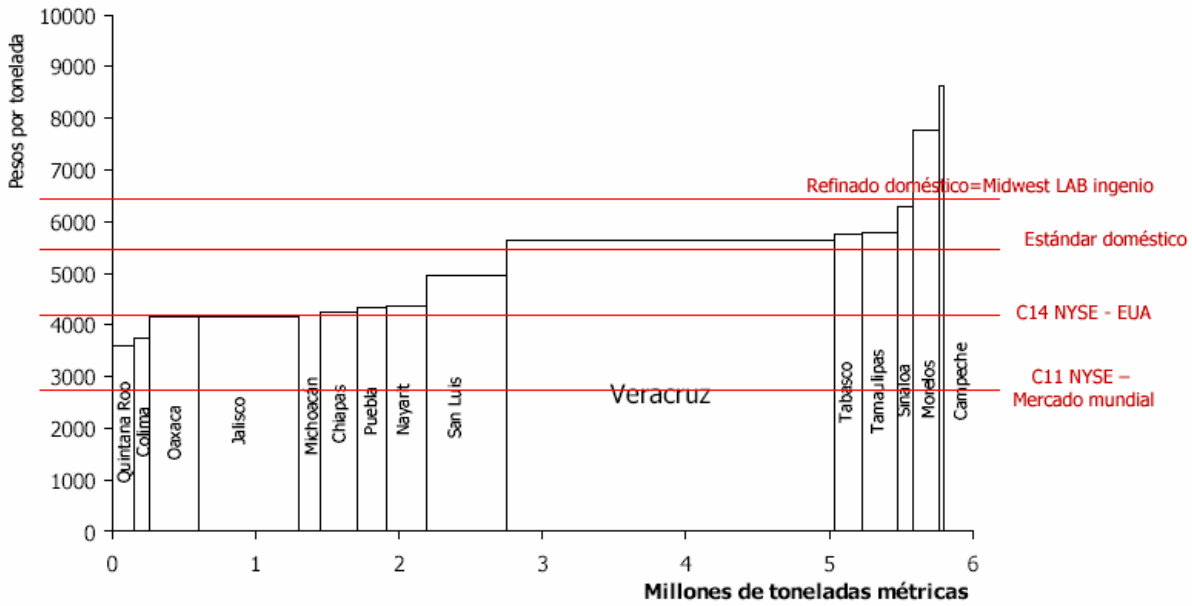


Fuente: Newell (2007).

Figura 5.2 Regiones competitivas para producción de maíz en México.

En teoría, es posible mantener un precio de mercado por debajo del correspondiente al precio del maíz en EUA sin arancel, si su producción se realiza en los estados de Guanajuato, Sinaloa, Tamaulipas o Jalisco. En la práctica, sin embargo, es necesario considerar al campo mexicano: el maíz es hoy en día un producto de importación, por lo que utilizar el poco maíz nacional para producción de bioetanol disminuiría aún más la reserva.

Por este motivo, la obtención de etanol a base de caña de azúcar es una posibilidad más prometedora, ya que en el proceso se obtiene azúcar directamente como subproducto, minimizando con ello la cadena alimenticia. Para lograr una producción a niveles competitivos, se debe desarrollar en regiones tropicales, como Oaxaca, Chiapas, Jalisco, Colima y Quintana Roo, las cuales muestran un gran potencial (Figura 5.3).



Fuente: Newell (2007).

Figura 5.3 Regiones competitivas para producción de caña de azúcar en México.

De manera adicional a los métodos conocidos y estudiados, se plantea la posibilidad de utilizar el sorgo dulce, la yuca y, más recientemente, la Jathropha curcas. Dicha posibilidad se encuentra actualmente en estudio, y se prevé un costo inicial elevado, pero beneficioso a largo plazo pues no interfiere con las cadenas alimenticias. La Tabla 5.1 destaca el grado de conocimiento sobre la tecnología aplicable en México para la obtención de etanol.

Tabla 5.1 Conocimiento y uso de plantaciones para obtención de etanol en México.

Cultivo	Conocimiento Agrónomo	Exigencia edafoclimática [101]	Tecnología para su producción	Posibilidad de integración, uso de subproductos
Caña	Alto	Alta	Conocida y practicada	Alta
Maíz	Alto	Alta	Conocida y practicada	Alta
Sorgo dulce	Mediano	Mediana	Conocida	Mediana
Yuca	Limitado	Baja	Conocida y practicada (Sureste asiático)	Baja
Jathropha	Bajo	Mediana	Conocida	Baja

Fuente: Mata (2007).

5.1.2. Electricidad de la fuente (plug in)

La tecnología referente a vehículos eléctricos en México se encuentra poco desarrollada, destacándose únicamente el sector híbrido, con ventas muy por debajo de su contraparte convencional. El costo incremental de la gasolina no ha probado ser un factor determinante en la inclusión de este tipo de tecnología al parque vehicular, por lo que las cifras se mantienen extremadamente bajas.

Adicionalmente, no existe en la actualidad infraestructura para vehículos totalmente eléctricos de uso particular en México, ya que ésta se encuentra concentrada en sistemas de transporte público de circuito cerrado, como trolebuses y, en el caso de la ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, un sistema de tren subterráneo.

La comercialización de vehículos híbridos en enero de 2006 (AMIA/SEMARNAT, 2006), nueve años después que en EUA, presentan un costo cercano al 50% adicional al total de su contraparte convencional. A falta de un programa definido para solventar ese gasto por parte del gobierno, pocas razones existen, aparte de la ambiental, para adquirir un vehículo con tales características.

Aun a pesar de dicho costo, en el año 2006 se vendieron 500 vehículos híbridos en el Distrito Federal. Compañías como Toyota y Ford han anunciado planes para incorporar sus

[101] Edafoclimático: Perteneciente o relativo al suelo y al clima.

modelos más populares, de manera semejante a Honda, por lo que se espera un gran repunte en este mercado. La cantidad de vehículos híbridos correspondieron al 0.04% del total actual en el año 2006 (AMIA, 2007).

5.1.3. Hidrógeno

La infraestructura necesaria para desarrollar vehículos y sistemas de autotransporte en México es aún bastante limitada; sin embargo, existe un gran impulso a la economía del hidrógeno por parte de instituciones de educación superior, destacando numerosos proyectos en el ramo.

Avances en el estudio de celdas de combustible permiten extraer el hidrógeno de la mezcla directamente en el sistema, a través de un *reformer*, con lo cual se puede concebir un vehículo que funcione a través de gas metano, ácido fosfórico o cualquier otro hidrocarburo, incluyendo gasolina.

Resulta importante considerar, sin embargo, que una ventaja del uso de celdas de combustible es la nula emisión de GEI en la combustión: De utilizarse gasolinas, hidrocarburos o afines, esta ventaja se anularía, y por el contrario, las emisiones serían superiores, puesto que se disminuye la eficiencia del sistema.

La experimentación con la producción, suministro y utilización de hidrógeno en autobuses con celdas de combustible en países de la Comunidad Europea y Japón, aunado con la participación de México en la OECD, han presentado un panorama activo para el mercado del hidrógeno en el transporte de pasajeros. Su uso en vehículos particulares, por el contrario, dista mucho de implementarse a escala masiva, y se prevé como una alternativa comercial a mediados de siglo.

5.2. Análisis de incentivos legales, comerciales, económicos y medioambientales para el desarrollo de estos proyectos

A continuación se desglosan, por fuente, los incentivos existentes en el marco regulatorio mexicano para cada tipo de tecnología.

5.2.1. Biocombustibles

5.2.1.1. Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

a) Descripción

La presente ley, puesta originalmente en vigor en abril de 2007 y sometida a un proceso extraordinario de revisión en septiembre del año 2007, fue finalmente aprobada el día 4 de noviembre del año 2007[102]. La misma tiene por objeto la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de alcanzar la diversificación energética y el desarrollo sustentable.

b) Principales disposiciones

Dentro del marco regulatorio, se establecen las condiciones para:

- Promover y desarrollar el uso de los bioenergéticos como elementos clave para contribuir a lograr la autosuficiencia energética del país.
- Impulsar la producción agrícola y el empleo productivo a partir de la bioenergía.
- Orientar la agroindustria para la instalación de plantas para el procesamiento de los productos agropecuarios que pudieran ser empleados en la producción de etanol y otros bioenergéticos.
- Promover y fomentar la producción y desarrollo de biocombustibles de uso automotriz.
- Fomentar la producción, distribución y comercialización de bioenergéticos, provenientes de biomasa.

[102] http://www.agrointernet.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=1841&Itemid=2

- Proporcionar los apoyos técnicos y presupuestales que se requieran para el desarrollo de bioenergéticos.
- Fomentar la creación de cadenas productivas relacionadas con los biocombustibles.
- Establecer las bases para impulsar y proporcionar apoyos a la producción, tecnificación, comercialización y empleo de los bioenergéticos.
- Coadyuvar al desarrollo rural del país, estableciendo acciones de impulso a la productividad y competitividad a partir de la diversificación energética.

c) Metas

Las metas del programa, entre otras, incluyen los siguientes puntos:

- Garantizar, en los términos del artículo 4º, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el derecho al medio ambiente adecuado, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
- Impulsar la agroindustria de la caña de azúcar y maíz para la producción de etanol, así como de plantas oleaginosas para la producción de biodiesel, como bioenergéticos.
- Desarrollar el uso de bioenergéticos como parte del mecanismo de desarrollo limpio, así como la difusión de la información para su utilización.
- Fomentar la creación de cadenas productivas relacionadas con los biocombustibles.
- Promover el uso de etanol como oxigenante en las gasolinas.
- Impulsar la producción, distribución y comercialización de energías renovables provenientes de biomasa, proporcionando los apoyos técnicos y presupuestales que se requieran para el desarrollo de energías renovables.
- Consolidar la investigación científica y tecnológica como herramienta fundamental para la definición e implementación de políticas, instrumentos, medidas, mecanismos y decisiones relativos al aprovechamiento sustentable de los recursos relacionados con los bioenergéticos.

5.2.2. Electricidad de la fuente (plug in)

No existen subsidios de manera directa en este rubro en México, ya que no existe una legislación correspondiente. Sin embargo, su uso en combinación con gasolina en vehículos híbridos ha sido un mercado creciente y se plantean diversos planes para contrarrestar el precio elevado que supone la compra de un vehículo con dichas características.

Una iniciativa propuesta por la AMIA[103] consiste en una exención de impuestos como la verificación vehicular, la tenencia y el ISAN[104], tomando como referencia el descuento que se ofrece en Estados Unidos a compradores de dichos vehículos. Esta iniciativa, sin embargo, aún no ha sido aprobada, por lo que la venta de vehículos híbridos en el país se realiza bajo pedido y no es considerada como una opción económicamente viable para disminuir el uso de combustible fósil.

Otro factor que impide, en cierta manera, la aprobación de dicha propuesta, obedece a un principio fiscal. Con la reciente aprobación del 5.5% sobre el precio de la gasolina en septiembre del año 2007, se pretenden recaudar más recursos mediante la venta de la misma, energético que irónicamente se pretende disminuir con la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. Como se puede apreciar, se observa una contradicción.

Salvo muy pequeñas excepciones, el uso de vehículos eléctricos en México parece destinado a desarrollarse como mecanismo de ayuda a personas discapacitadas, en selectos supermercados y de manera recreativa en sectores de la población con capacidad para incurrir en semejante gasto.

5.2.3. Hidrógeno

En México, el estudio sobre la posibilidad en el uso del hidrógeno como energético es analizado por la RNH[105], asociación civil que surge en el año 2003 y agrupa las principales

[103] AMIA: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz.
[104] ISAN: Impuesto Sobre Autos Nuevos
[105] RNH: Red Nacional del Hidrógeno.

organizaciones, centros e institutos académicos especializados del país, así como empresas, organismos gubernamentales y representantes del sector empresarial privado.

Las ventajas del uso de este elemento se relacionan con apoyo y promoción de nuevas tecnologías, disminución de costos, aumento de eficiencia y superación de retos tecnológicos. Para ello, de forma adicional a las líneas estratégicas mencionadas anteriormente, se suma la generación de la normatividad necesaria y la creación del Plan Nacional del Hidrógeno, documento rector del avance de estas tecnologías en nuestro país.

5.2.3.1. FONHIDRO[106].

a) Descripción

Aunque no se encuentre directamente relacionado con el sector autotransporte en México, el Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno se encarga de financiar los proyectos incluidos en el PNH, el cual incluye la investigación correspondiente en celdas de combustible, medio más viable para ser aplicado en un mediano plazo en el sector de autotransporte.

b) Principales disposiciones

El fondo financiará su funcionamiento basado en las siguientes cláusulas:

- La partida del presupuesto de la administración nacional que fije anualmente el Congreso de la Nación.
- Los generados con su actividad, en la proporción que la reglamentación determine.
- Préstamos y donaciones de organismos e instituciones nacionales o internacionales, públicas o privadas.
- Los importes correspondientes a la aplicación de las sanciones previstas en los artículos siguientes de la Comisión de Energía y Combustibles, a saber:

[106] FONHIDRO: Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno.

- Artículo sexto: Toda actividad orientada al uso del hidrógeno como combustible o como fuente de energía, requerirá autorización de la Autoridad de Aplicación.
- Artículo séptimo: El incumplimiento de las disposiciones de la presente ley o de las reglamentaciones que en su consecuencia se dicten, sin perjuicio de las sanciones que pudieran corresponder por la comisión de otras conductas previstas en el Código Penal y leyes complementarias, será sancionado, en forma acumulativa, con:

    - Apercibimiento.
    - Multa de un mil ($1,000) a cien mil ($100,000) pesos.
    - Suspensión de la actividad de 30 (treinta) días hasta 1 (un) año, según corresponda y atendiendo a las circunstancias del caso.
    - Cese definitivo de la actividad y la clausura de las instalaciones, según corresponda y atendiendo a las circunstancias del caso.

- Artículo octavo: Las sanciones establecidas en el artículo anterior se aplicarán previa instrucción sumaria que asegure el derecho a la defensa, y se graduarán de acuerdo con la naturaleza de la infracción.

c) Metas

La meta principal del FONHIDRO es financiar los mecanismos encaminados a:

- Promover y realizar proyectos de desarrollo tecnológico y de demostración en hidrógeno empleando estudios científicos y técnicos, con la colaboración de la industria nacional y la academia.
- Fomentar el desarrollo y la incorporación de nuevas concepciones, principios y tecnologías relacionadas con el hidrógeno, para el desarrollo industrial en México.
- Realizar y participar en reuniones, seminarios, mesas redondas y otros eventos en que se efectúen análisis y discusión de temas relativos al hidrógeno.
- Editar y promover la publicación de trabajos sobre el hidrógeno cuya importancia amerite su difusión.

- Crear y fortalecer lazos entre universidades, centros de investigación, la industria e instituciones relacionadas con el hidrógeno, tanto en la República Mexicana como en el extranjero, tendientes a la consecución de su objetivo.
- Establecer comunicación e intercambio permanente con organismos nacionales y extranjeros que tengan finalidades similares.
- Colaborar ampliamente con centros de información y documentación, organizaciones e industrias relacionadas con el hidrógeno.
- Propiciar y participar en la actualización permanente de profesionales especialistas en el área de las tecnologías del hidrógeno.
- Participar como uno de los órganos de consulta de las diferentes instituciones públicas y privadas, encargadas de enseñar, desarrollar o aplicar los conocimientos de las tecnologías del hidrógeno.
- Realizar por iniciativa propia o por encargo expreso de instituciones y empresas públicas o privadas, organizaciones no gubernamentales o de carácter internacional, estudios sobre problemas relativos al hidrógeno, su desarrollo, aplicación y aportaciones a la economía mexicana.
- Promover la extensión de las actividades de la asociación mediante la incorporación de empresas e instituciones radicadas en la República Mexicana y en el extranjero.
- Promover la acreditación y certificación de personal, programas, laboratorios y otras organizaciones dedicadas a actividades vinculadas al hidrógeno, en coordinación con instituciones y autoridades competentes.
- Fomentar la creación de empresas de base tecnológica en el tema del hidrógeno.

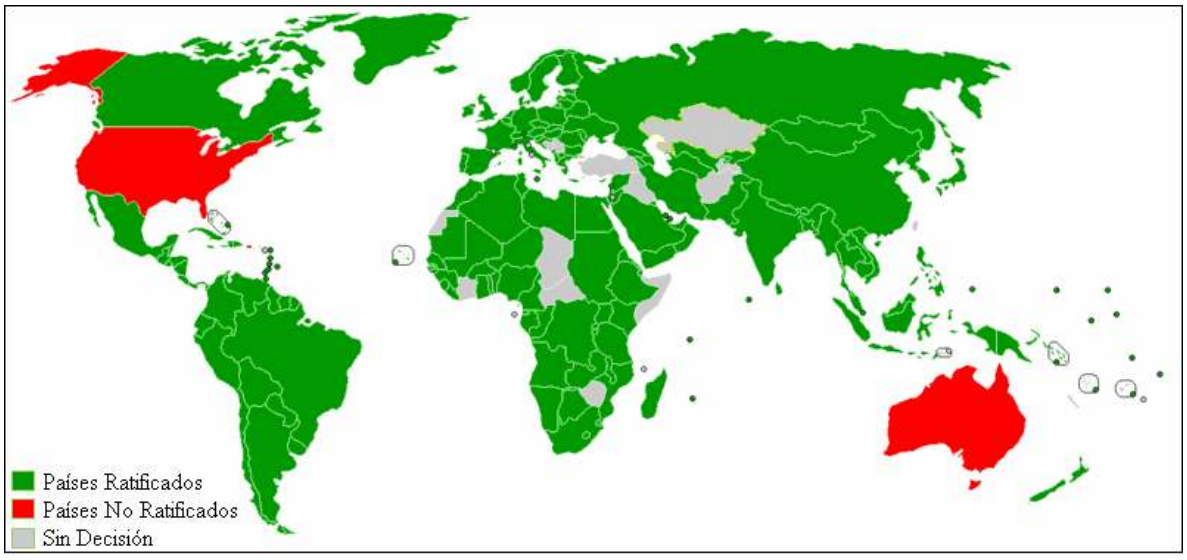
5.3. Posibilidades de ingresos a través del mercado internacional de Bonos de Carbono

5.3.1. Protocolo de Kyoto

El mercado internacional de bonos de carbono surge a raíz del protocolo de Kyoto, el cual es un acuerdo internacional de la CMNUCC que busca minimizar y enfrentar los efectos del cambio climático a partir de la reducción de emisiones de GEI. Para ello, se clasifica a los países participantes como anexo 1 y no anexo 1.

Hasta septiembre de 2007, un total de 172 países han ratificado el protocolo de Kyoto[107]. Del total mundial, 20 países no han emitido una decisión aún, y dos países han decidido no ratificar el protocolo.

Cabe destacar que el proceso de ratificación es un paso clave para aceptar formalmente un tratado internacional, pero no implica que un país haya llegado a un acuerdo formal de limitar sus emisiones. Del total de países ratificados, solamente 35 países han acordado limitar dichas emisiones. La Figura 5.4 muestra un panorama mundial referente al protocolo de Kyoto.



Fuente: Wikipedia (2007), con datos de UNFCC (2007).

Figura 5.4 Situación mundial sobre la ratificación del protocolo de Kyoto.

[107] http://unfccc.int/kyoto_protocol/background/status_of_ratification/items/2613.php

El protocolo de Kyoto expirará en el año 2012, sin embargo, se promoverá su continuación una vez que éste haya demostrado su rentabilidad a lo largo del tiempo. De esta manera, los escenarios, proyecciones y desarrollo, parten de una suposición en la cual se apuesta por la continuación del mismo.

5.3.1.1. Países anexo I

Esta lista comprende a países industrializados, quienes han acordado reducir sus emisiones a niveles por debajo de 1990. En caso de no poder lograr tal objetivo, deberán comprar emisiones o invertir en conservación.

Los países incluidos en esta categoría (septiembre 2007) son: Alemania, Australia[108], Austria, Bielorrusia, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Croacia, República Checa, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, EUA[109], Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Mónaco, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rumania, Rusia, Suecia, Suiza, Turquía y Ucrania.

5.3.1.2. Países anexo II

Éstos comprenden a los países obligados a proveer recursos financieros para los países en desarrollo. Los países del anexo II pertenecen a un subgrupo de los países de anexo I, consistente en países miembros de la OECD[110], pero excluyendo a aquellos que formaron parte de la economía de transición[111] de 1992.

[108] Australia es considerado país de Anexo I, aún a pesar de haber comentado no tener intención de ratificar el protocolo.
[109] EUA es también considerado país de Anexo I, aún a pesar de haber comentado no tener intención de ratificar el protocolo
[110] *OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development.*
[111] Economía de transición: Situación mediante la cual se avanza de un sistema centralizado a un libre mercado. Generalmente se refiere a países de Europa oriental, pero también es válido para países post-socialistas, o países en vías de desarrollo cuyo crecimiento es muy acelerado.

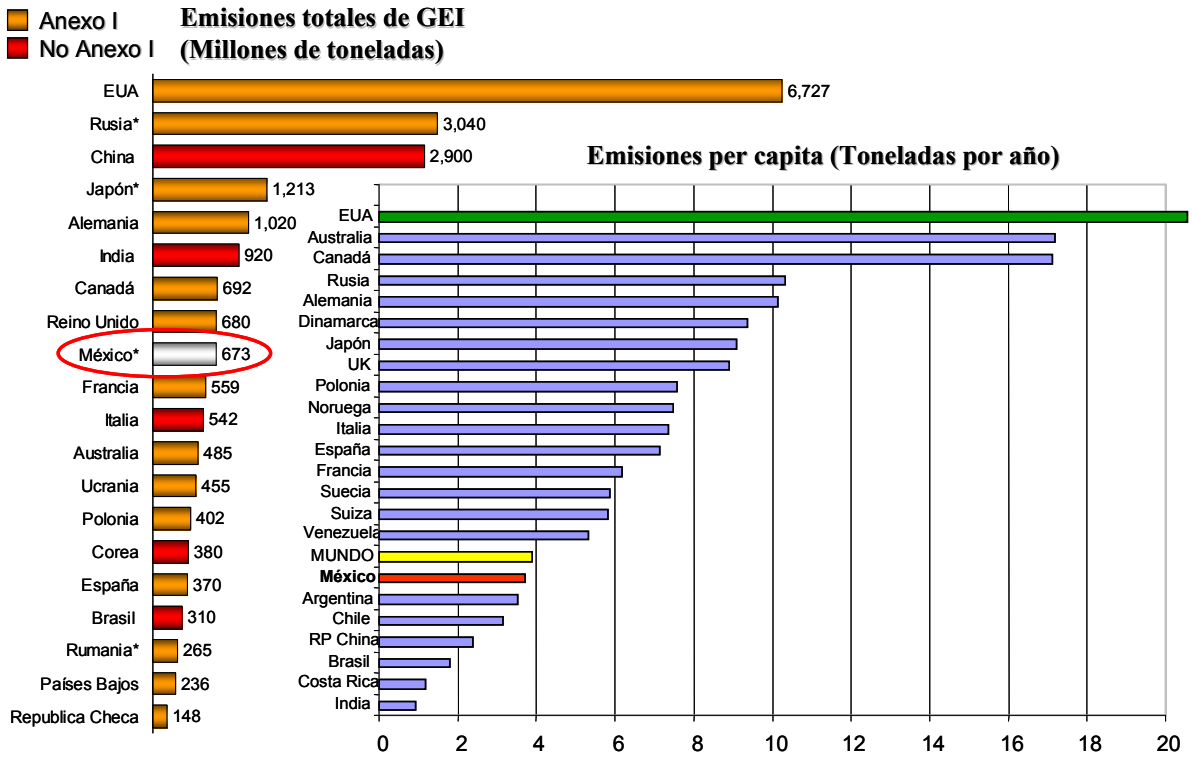
Los países incluidos en esta categoría (septiembre 2007) son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, EUA, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza.

5.3.1.3. Países no anexo I

Comprende a todos los países en vías de desarrollo que han decidido ratificar el protocolo, siendo México parte de ésta clasificación. Los países en desarrollo pueden convertirse voluntariamente en países de anexo I, siempre y cuando se demuestre un grado suficiente de desarrollo.

5.3.1.4. Emisiones por país

Dentro del panorama global, México ocupa el noveno lugar en emisiones de GEI y el primero en Latinoamérica. Con una cantidad equivalente a 673 millones de toneladas, la emisión per cápita es de 3.8 toneladas de CO_2 al año (Zeferino, 2005). No obstante que su participación global es menor al 2% del total mundial, México es una plataforma muy interesante para el mercado internacional de bonos de carbono porque hay un potencial importante para reducir las emisiones de GEI (Figura 5.5).



Fuente: Zeferino (2005).

Figura 5.5 Emisiones de GEI en el mundo.

Operativamente, el PICC[112] representa para la CMNUCC[113] la fuente de información objetiva para analizar las acciones a implementar y así lograr el objetivo de estabilizar las emisiones de los GEI. El órgano primario de la CMNUCC es la Conferencia de las Partes[114] (COP), en la cual se examinan las actividades de sus países miembros, a partir de sus comunicados e inventarios nacionales. Se consideran las nuevas investigaciones científicas y se evalúa la situación para hacer frente al cambio climático. A través de la COP se definen los instrumentos para lograr el objetivo de la CMNUCC, dando origen, entre otros compromisos, al Protocolo de Kyoto, el cual entra finalmente en vigor en el año 2005 (Tabla 5.2).

[112] PICC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
[113] CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
[114] Los países que han ratificado la CMNUCC, son considerados como – las "Partes en la Convención" (CMNUCC, 1992)

Tabla 5.2 Eventos más relevantes en el desarrollo del protocolo de Kyoto.

Año	Evento
1988	Se establece el PICC
1992	Es aprobada la CMNUCC
1994	Entra en vigor la CMNUCC
1997	Es aprobado el protocolo de Kyoto
2005	Entra en vigor el Protocolo de Kyoto

Fuente: Zeferino (2005).

De esta manera, se establecen tres mecanismos de flexibilidad para reducir costos y facilitar el cumplimiento de las obligaciones asumidas por los países industrializados destinadas a mitigar la emisión de GEI: el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

5.3.1.5. Comercio de Emisiones (Artículo 17)

Permite la compraventa de emisiones entre los países del Anexo 1 de la CMNUCC, para el cumplimiento de sus compromisos.

5.3.1.6. Aplicación Conjunta (Artículo 6)

Este mecanismo permite la cuantificación de las URE[115] obtenidas en proyectos realizados entre las Partes pertenecientes al Anexo 1 de la CMNUCC, el cual tiene como objetivo ya sea la reducción de emisiones antropógenas o el incremento de las absorciones de GEI.

5.3.1.7. Mecanismo de Desarrollo Limpio (Artículo 12)

Este mecanismo, del cual se hablará más a fondo a continuación, cuenta con dos objetivos específicos:

[115] URE: Unidades de Reducción de Emisiones.

- Ayudar a los países en desarrollo mediante la implantación de proyectos y la transferencia de tecnología con lo que se obtendrán RCE[116].
- Ayudar a los países desarrollados pertenecientes al Anexo 1 con el cumplimiento de sus compromisos de reducción y/o limitación de emisiones.

5.3.2. Mecanismo de Desarrollo Limpio

5.3.2.1. Características

El protocolo de Kyoto no define las actividades ni las tecnologías que un proyecto debe cumplir para participar como MDL[117]; sin embargo, existen criterios generales que deben cumplirse, los cuales son enunciados en seguida:

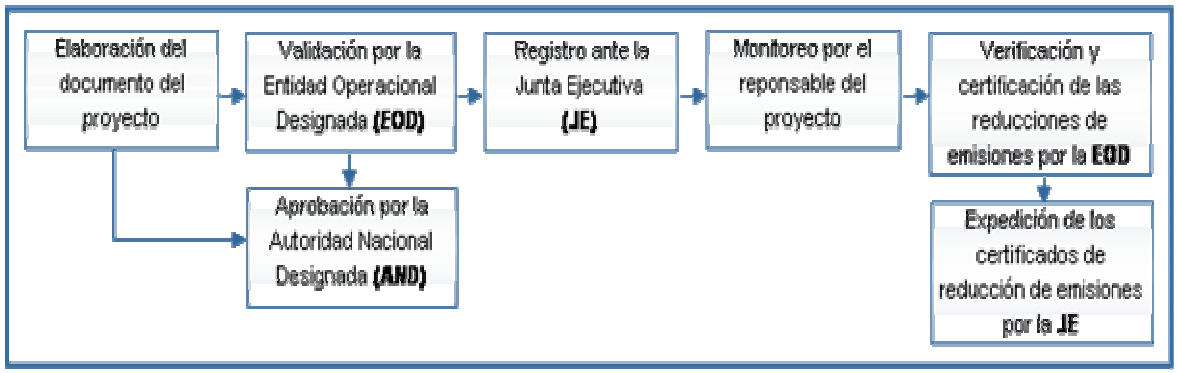
- Los proyectos deben generar reducciones de emisiones de GEI en un país en desarrollo y estas emisiones deben ser reales, cuantificables y a largo plazo.
- El proyecto debe señalar los límites de la reducción o secuestro de GEI.
- Las reducciones de emisiones de GEI de un proyecto deben ser adicionales. La adicionalidad es un requisito y se refiere a que las emisiones generadas sean menores que si no se hubiera implantado el proyecto, además de demostrarse que el proyecto no se hubiera implantado en ausencia del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Las reducciones de emisiones de GEI son calculadas con un escenario hipotético y que se define como base de referencia o línea base, aspecto que definiremos posteriormente dentro del capítulo.
- Los proyectos MDL deben contribuir al desarrollo sostenible del País anfitrión, es decisión de este declarar que a través del proyecto se contribuye a su desarrollo sostenible y son considerados los criterios sociales, económicos y ambientales.
- Los proyectos deben cumplir con los requisitos en el aspecto legal del País anfitrión.
- Se deben evitar por las Partes las certificaciones generadas por proyectos que utilicen energía nuclear.

[116] RCE: Reducciones Certificadas de Emisiones.
[117] MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio.

- No podrán utilizarse fondos provenientes de la Ayuda Oficial para el Desarrollo para financiar proyectos.

5.3.2.2. Pasos a seguir en la planeación de un MDL

El proceso de selección y planeación involucra varios pasos que deben seguirse. La participación de entidades necesarias para llevar a cabo un proyecto MDL se enlista en la Figura 5.6.



Fuente: Zeferino (2005).

Figura 5.6 Participación de entidades en un proyecto MDL.

A continuación se enuncia cada una de las partes encargadas de la aprobación y certificación de proyectos MDL.

a) Autoridad Nacional Designada (AND)

Las Partes deben nombrar a una AND para poder participar en los proyectos MDL, cuyas funciones principales son las siguientes:

- Desempeñar el papel de Autoridad Nacional Designada
- Revisar y emitir Cartas de Aprobación de Proyectos MDL
- Promover y facilitar el desarrollo de proyectos
- Difundir y capacitar para la realización de proyectos de reducción o captura de GEI.

b) Junta Ejecutiva (JE)

Órgano encargado de supervisar el funcionamiento del Mecanismo de Desarrollo Limpio. La Junta Ejecutiva está integrada por diez miembros, un miembro de cada uno de los cinco grupos regionales de Naciones Unidas[118], dos miembros precedentes de Partes incluidas en el Anexo 1, dos miembros precedentes de Partes no incluidas en el Anexo 1, un miembro en representación de los pequeños estados insulares en desarrollo. Las actividades que desempeña la Junta Ejecutiva son:

- Supervisar al MDL
- Establecer reglas referentes al cálculo de la base de referencia, vigilancia de misiones, procedimientos de verificación, aprobación de proyectos y acreditación de las entidades operativas.
- Procedimientos y Modalidades para los proyectos.
- Elaboración y gestión de registro MDL.
- Información al público.

c) Entidad Operacional Designada (EOD)

Es una entidad independiente acreditada por la JE del MDL. Las actividades que realiza son las siguientes:

- Validar proyectos MDL y presentarlos ante la JE para su aprobación y registro.
- Verificar y certificar las reducciones de emisiones de GEI.

La Entidad Operacional designada está facultada para presentar nuevas metodologías.

[118] Las cinco regiones que considera la Organización de Naciones Unidas son las siguientes: Estados de África, Asia, Europa Oriental, América Latina y el Caribe, y Europa Occidental y otros Estados.

d) País anfitrión

Es el país que no pertenece al Anexo 1 de la CMNUCC, en el cual se efectúa el proyecto, y debe cumplir con ciertos requisitos para poder participar, y son enunciados a continuación:

- Haber ratificado el Protocolo de Kyoto.
- Participar voluntariamente en la actividad del proyecto MDL (como entidad pública o privada del país participante).
- Tener establecida una Autoridad Nacional Designada.

e) País incluido en el Anexo 1 de la CMNUCC

Para que un país con compromisos cuantificados de reducción de emisiones pueda participar en proyectos MDL es necesario que haya realizado las siguientes actividades:

- Designar a la AND.
- Haber ratificado el Protocolo de Kyoto.
- Tener el limite cuantitativo de sus emisiones, encontrándose ya establecido en el protocolo de Kyoto, a partir del cálculo de su atribución de GEI.
- Establecer un registro nacional.
- Contar con un sistema nacional para la estimación de emisiones.
- Entregar anualmente los inventarios requeridos.

5.3.2.3. Clasificación de proyectos

Para la clasificación de un proyecto, éste debe desarrollarse dentro del marco de una de las tres categorías que se enlistan a continuación:

- Tipo I: Actividades de proyectos de energías renovables con una capacidad máxima de producción equivalente[119] de 15 MW, o equivalente[120].
- Tipo II: Actividades de proyectos de mejor a de la eficiencia energética que reduzcan el consumo de energía, por el lado de la oferta y/o de la demanda, con un máximo equivalente de 15 GWh/año.
- Tipo III: Actividades de otros proyectos que reduzcan las emisiones antropogénicas por las fuentes y emitan directamente menos de 15kt de CO_2 equivalente por año.

En ocasiones, es posible que un proyecto particular se adapte a dos o más categorías. En ese caso, es necesario incorporarlo de acuerdo con la categoría con la cual comparta más elementos en común.

Adicionalmente, puede darse el caso contrario, cuando un proyecto no encaja en ninguna de las categorías establecidas. En ese caso, es necesario que los participantes propongan una nueva categoría a la JE previo a la entrega del documento de diseño del proyecto, incluyendo una descripción de aplicación de la nueva categoría a la metodología simplificada de la base de referencia y de vigilancia, quedando a discreción de la JE para su inclusión dentro de la categoría que mejor represente.

5.3.2.4. MDL en México

La Tabla 5.3 que se muestra a continuación describe todas las categorías en las cuales México cuenta con proyectos MDL registrados.

[119] Se entiende por producción máxima a la capacidad instalada o calculada que haya indicado el fabricante del equipo, sin tener el factor de disponibilidad efectivo de las instalaciones.
[120] La potencia de los proyectos puede referirse a megawatts de pico, eléctricos ó térmicos (MW_p, MW_e, MW_t respectivamente), se decidió medir en megawatts eléctricos (MW), y aplicar el factor de conversión correspondiente para los otros tipos de energía.

Tabla 5.3 Proyectos mexicanos del MDL con cartas de no objeción.

Tipo de proyectos	Numero proyectos	Ubicación	Reducciones de CO_2 (Kton/año)
Manejo de aguas residuales	1	SON.	10
Manejo de residuos en granjas porcícolas	88	AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.L.P., SON., OAX., TAMPS., VER., YUC	2510
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	54	AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN., SON., TLAX.	942
Metano de rellenos sanitarios	9	AGS., CHIH.,DGO., EDO. MEX.,MOR., JAL.	1110
Energía eólica	8	B.C., OAX	2216
Hidroeléctricos	4	GRO., JAL., MICH., OAX.	161
Incineración HFC – 23	1	N.L.	2155
Mitigación de N_2O en la industria química	1	VER	103
Cogeneración y eficiencia energética	9	EDO. MEX.,HGO., MICH., SIN., SON., TAB., TAMPS.,Q. ROO., VER.	702
Emisiones fugitivas	2	COAH., VER.	665
Transporte	1	D.F.	24
Total	178		10598

Fuente: COMEGEI (2007).

a) MDL relacionados con el sector autotransporte en México

Como se puede apreciar en la Tabla 5.3, el ramo del autotransporte en México aún no se ha visto muy beneficiado con la implementación de los MDL, ya que se cuenta con un solo proyecto en todo el país.

El proyecto de corredores segregados de la ciudad y Estado de México, metrobús, desplaza una cantidad equivalente a 35,472 ton CO_2/año[121], lo cual corresponde a una remuneración

[121] http://www.metrobus.df.gob.mx/noticias/index.html

de $177,360 dólares[122] anuales por concepto de venta de CER[123]'s. La reducción se lleva a cabo indirectamente mediante el uso de mejores tecnologías, reducción en el tiempo de viaje, disminución de los vehículos actuales y maximización en el uso de la flota de autobuses. En el caso específico del metrobús, la metodología utilizada se denomina AM0031, sobre la cual se comentará más adelante.

Adicionalmente, se prevé un incremento de proyectos MDL en biorefinerías de caña de azúcar, gran parte de los cuales provendrían de la región sureste del país. Este subsidio, indirectamente ligado con el sector transporte, puede proveer el empuje necesario para mantener bajos los costos de producción, ya que de lo contrario el precio por litro de etanol no sería económicamente competitivo con países con más experiencia en el rubro.

Las biorefinerías que obtienen etanol a base de maíz no son ampliamente consideradas como opción de MDL. Esto es debido a la marginal ganancia en el balance neto de energía, y en el caso particular de México, se consideran plantaciones diversas como la Jathropha curcas debido a su mínimo impacto en las cadenas alimenticias y su alto contenido energético.

5.3.3. Metodologías aplicables al transporte

Como se puede apreciar, existen diversas metodologías que pueden ser aplicables, directa, o indirectamente, al sector transporte. La imposibilidad de aplicación de una metodología determinada debida a su especificidad se compensa con una gran flexibilidad en la creación de nuevas metodologías, si éstas se encuentran debidamente justificadas.

5.3.3.1. Reducción de emisiones en el sector de transporte público.

La tabla que se muestra a continuación detalla las normativas aplicables hasta febrero del año 2007, así como su fuente (Tabla 5.4).

[122] Estimando un precio en el mercado de $5 dólares por ton CO_2
[123] *CER: Certified Emission Reduction.*

Tabla 5.4 Áreas cubiertas con una metodología para el sector transporte mediante proyectos MDL.

Fuente \ Utilización	Vehículo			
	Bioetanol puro	Bioetanol mezclado	Biodiesel puro	Biodiesel mezclado
Caña de azúcar		NM0185		
Maíz				
Trigo, arroz				
Madera o papel de desperdicio				
Aceite vegetal comestible			NM0129	
Aceite de rabina				
Aceita de soya				
Aceite de girasol				PJ(NM0129)
Aceite de palma				NM0142
Aceite de cocina utilizado			AM0047 (NM0180)	
Aceite no comestible				

Posible aplicación de NM0185
Posible aplicación de NM0129, NM0142 y NM1080
Aplicación regulada por NM0180

Fuente: Fujimori (2007).

a) AM0031. Metodología para el transporte de pasajeros de autobús *(Bus Rapid Transit)*

Esta metodología es aplicable a las actividades encaminadas a reducir emisiones mediante la construcción y operación de un sistema BRT[124] para transporte urbano. La metodología también es aplicable para extensiones o expansiones de sistemas BRT existentes, añadiendo nuevas rutas y líneas. Esta metodología es la seguida por el sistema de transporte urbano Metrobús, en la Ciudad de México, así como en diversas ciudades de Latinoamérica.

Las condiciones de aplicabilidad se muestran a continuación:

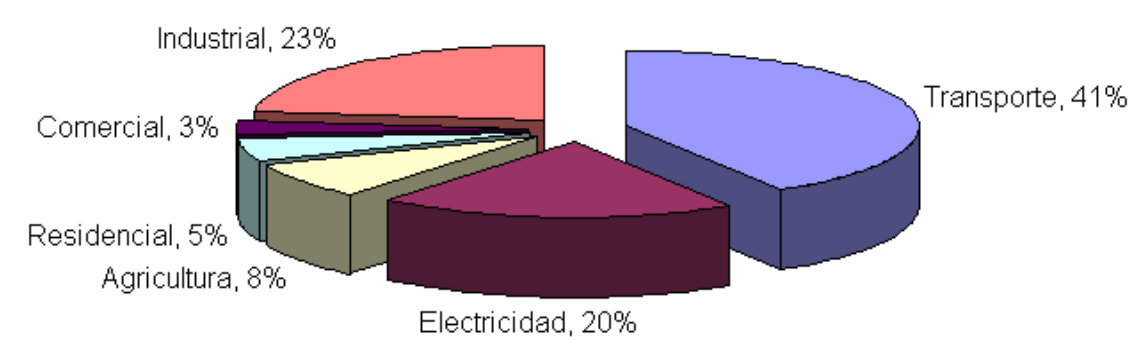
[124] *BRT: Bus Rapid Transit.*

- El proyecto debe tener un plan claro para reemplazar el transporte disponible actualmente, ya sea mediante la destrucción de vehículos, restricción de permisos, instrumentos económicos u otros, con un sistema BRT.
- Las regulaciones locales no influyen en el establecimiento o la expansión de un sistema BRT.
- Los combustibles utilizados para el cálculo de *baseline* deben ser gasolinas, diesel, LNG o CNG. Los proyectos que involucren el uso de biocombustibles, ya sea en el *baseline* o en el proyecto final, no son elegibles[125] para utilizar esta metodología.
- El sistema BRT, así como el sistema de transporte público base y demás sistemas, son basados en calles. La metodología excluye vías férreas, aéreas y acuáticas del análisis.
- La finalidad del nuevo sistema consiste en reemplazar, de forma parcial o total, el sistema de transporte público previo, por lo que no puede ser construido en zonas donde no existe transporte público previo.
- La metodología es aplicable si el análisis de alternativas posibles de escenarios base concluye que una continuación del sistema actual de transporte representa razonablemente las emisiones antropogénicas de fuentes de GEI que resultarían de la ausencia de la actividad propuesta (por ejemplo, el escenario base)

b) Consideraciones generales

En la décima reunión de la COP[126], celebrada en Buenos Aires, Argentina, en el año 2004, se refirieron a las metodologías relacionadas al transporte como "Aún no cubiertas" por las metodologías aprobadas. Esto ocasionó muchas limitaciones en el sector, pero con el incremento en metodologías y el enorme potencial del sector, se espera un despunte en MDL en transporte, el cual ocupa ya el 41% del total de emisiones a la atmósfera como producto de actividades humanas (Figura 5.7).

[125] Los participantes dispuestos a utilizar biocombustibles pueden solicitar una revisión a la metodología.
[126] COP: Conferencia de las Partes.



Fuente: UCSUSA (2007).

Figura 5.7 Panorama global de emisiones de GEI al ambiente, por sector.

Las principales limitantes, hasta ahora, han sido las siguientes:

- Las metodologías siguen siendo limitadas.
- Existen distintas dificultades técnicas, tales como las fronteras del proyecto, establecimiento de un escenario base, una proyección futura, monitoreo e instituciones.

5.3.3.2. Sustitución de combustibles fósiles (Proyecto de Tipo III)

La tabla mostrada anteriormente (Tabla 5.4) también detalla las metodologías referentes al uso de biocombustibles en sustitución de energético fósil, lo cual se detalla a continuación.

a) AM0047 (De NM0180). Producción de biodiesel para uso como combustible a base de aceite de cocina utilizado.

Esta metodología es aplicable a todos los proyectos que reducen emisiones mediante un cambio modal de diesel basado en petróleo a biodiesel, a la vez que asegura que los CER son otorgados al productor y no al consumidor. Las condiciones de aplicabilidad son las siguientes:

- El biodiesel mezclado debe ser suplido a los consumidores dentro del país anfitrión.

- La mezcla para uso estacionario (combustible para maquinaria) puede ser hasta del 100%, pero para vehículos tiene un límite máximo de 20% (B20)
- El consumidor y el productor firman un contrato que garantiza un monitoreo de consumo.
- Por el momento, sólo es aplicable a aceite de cocina utilizado. Se requiere una nueva metodología para otras fuentes.
- Para el cálculo del escenario base, esta metodología sólo es aplicable para la combinación de prácticas actuales sin inversión en capacidad de producción en biodiesel, en conjunto con una continuación en el consumo de diesel de petróleo.
- El aceite de cocina utilizado debe originarse a una distancia no mayor a 200 Km a la redonda.
- En caso de fugas, se calculará la penalización tomando en cuenta el factor de emisiones del combustible más contaminante del país.

b) NM0185. Producción de bioetanol anhidro basado en caña de azúcar para el transporte.

De igual manera, esta metodología es aplicable a todos los proyectos que reducen emisiones mediante un cambio modal de gasolina a bioetanol. Las condiciones de aplicabilidad son las siguientes:

- La puesta en práctica de la actividad del proyecto no conducirá a la producción nacional más allá del nivel potencial nacional máximo de la demanda. En países donde la venta de vehículos de tecnología *"flex-fuel"* sea menor a 10% del total vendido en el último año para el cual haya información disponible, el nivel máximo de demanda se define como el 25% de la demanda nacional de la gasolina o de cualquier tope nacionalmente impuesto en la mezcla bioetanol/gasolina.
- Debe establecerse un sistema de monitoreo a modo de prevenir exportaciones e importaciones ilegales de bioetanol. Esto generalmente se

cumple de manera indirecta puesto que se puede ver fácilmente el destino del bioetanol producido mediante un acuerdo con el mezclador y el distribuidor del mismo.

- La concentración máxima para su uso en combinación con gasolina es de 25%.
- La actividad del proyecto no puede utilizarse en gasohol para vehículos que funcionan con combustibles alternativos como LNG, CNG o biodiesel.

c) NM0129. Metodología generalizada para el transporte de biocombustibles con LCA[127].

Esta metodología es aplicable a proyectos de producción de biocombustible que incluye actividades en plantaciones, siempre y cuando:

- Las actividades del proyecto encaminadas a producir biocombustibles basados en plantaciones y biomasa tengan como objetivo la sustitución de combustible fósil (ya sea parcial o totalmente) en automóviles, instrumentos de agricultura, botes, etcétera, en el país anfitrión.
- La actividad del proyecto no altera la práctica actual (uso de suelo) o el estado actual del sitio de la plantación. Un experto independiente, asignado por la institución correspondiente, se encargará de validar el estado y la situación actual de la plantación, por lo que no puede estar sujeto a presiones de ningún tipo.
- Cuando el uso de biocombustible se encuentre regulado en el país anfitrión, solo se podrá hacer acreedor a créditos por la fracción del biocombustible que exceda tal regulación.
- El biocombustible producido no puede ser exportado a países del anexo 1, ya que de lo contrario la cantidad de biocombustible exportado no será elegible para la emisión de créditos.

[127] *LCA: Life Cycle Assessment.*

- Toda reducción en emisiones debido a la metodología de *carbon sequestration* no puede ser solicitada por los participantes. De igual manera, todo proyecto registrado como MDL no puede ser registrado bajo ningún otro esquema en el futuro.

d) Consideraciones generales

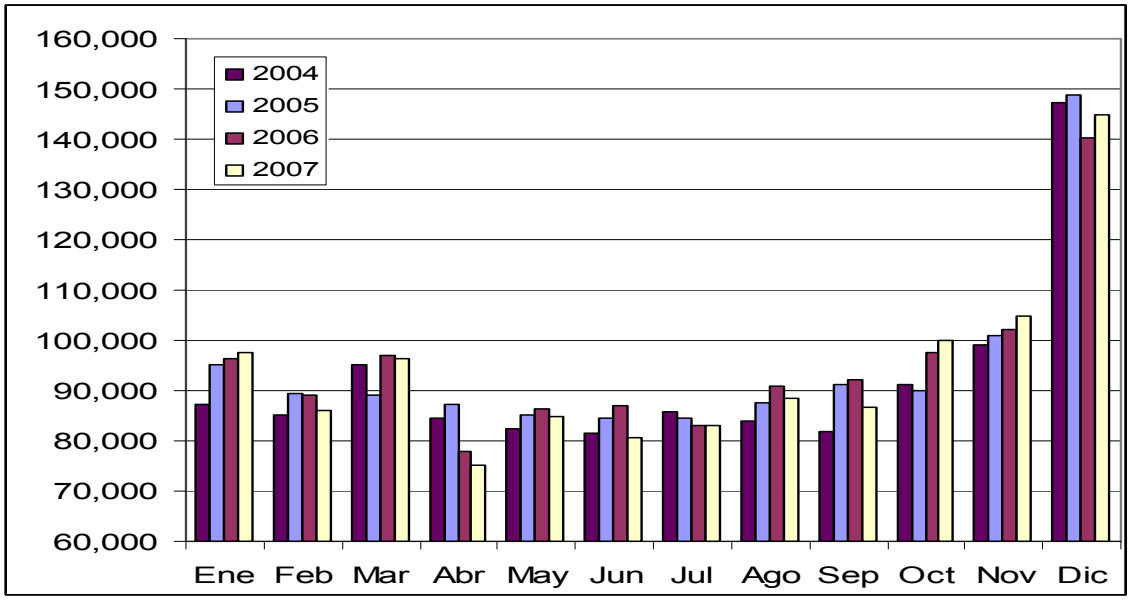
- Los CER pueden ser reclamados únicamente por la producción de biocombustibles y no por su uso.
- Sólo son válidas para metodologías que sustituyen combustible fósil con biocombustibles líquidos.
- El participante es el productor del biocombustible, por lo que el consumidor, el dueño del vehículo o maquinaria no es acreedor a ningún beneficio económico o certificado de emisiones.
- La exportación de biocombustible no está permitida, excepto a otros países que no pertenezcan a los mencionados en el anexo 1 del protocolo de Kyoto que no exporten biocombustibles ni combustibles mezclados en cualquier concentración.
- La exportación a países que no presenten dichas restricciones está permitida, pero la cantidad exportada no puede ser objeto de reclamación de CER.

5.4. Análisis de escenarios al año 2030 en México

5.4.1. Situación Actual

El parque vehicular en México, caracterizado por un bajo índice de renovación, ha sufrido un cambio en los últimos años debido en gran medida a planes de financiamiento para la adquisición de unidades nuevas. El precio homologado de la gasolina en México permite mantener precios relativamente estables, por lo que el mercado mexicano no se ve grandemente afectado por la oferta y la demanda, tal como ocurre en Estados Unidos.

Por esta razón, aún a pesar de los periodos de recesión en el transcurso del año 2007, las tendencias referentes a la adquisición de vehículos nuevos se mantiene constante (Figura 5.8[128]).



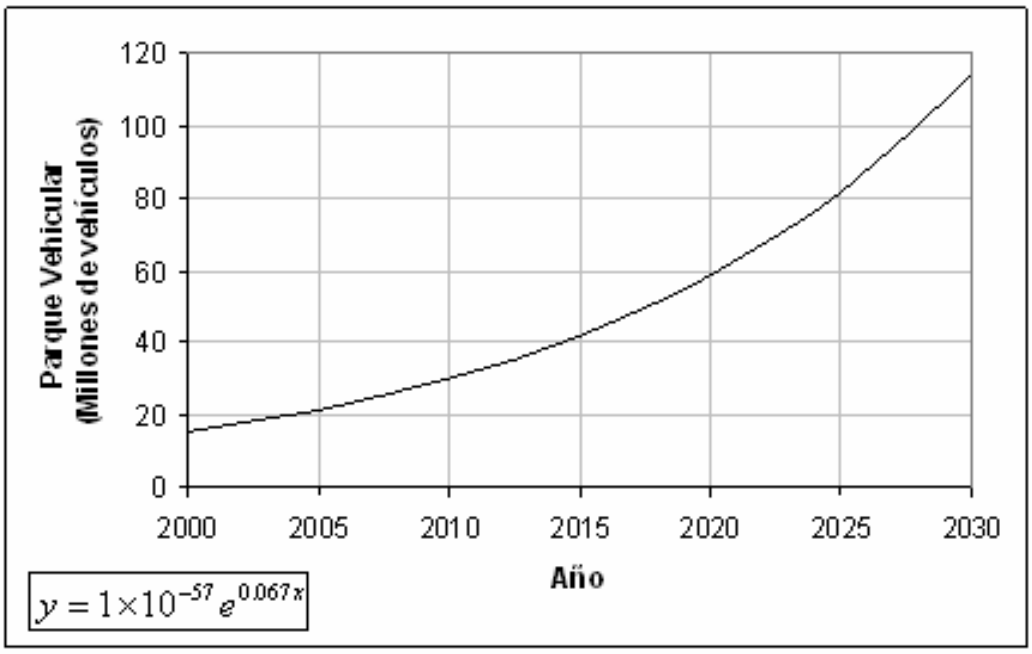
Fuente: El autor, con datos de AMIA (2007).

Figura 5.8 Ventas totales de vehículos en México, por año.

El parque vehicular en México en el año 2000 era de 15.6 millones de vehículos, cifra que incrementó en 39.8% para ubicarse en 21.4 millones para el año 2005 (SETRAVI, 2006). Considerando que dicho incremento es independiente de la tecnología que se utilice, puesto que ésta siempre se adecuará al mercado, podemos suponer un comportamiento similar

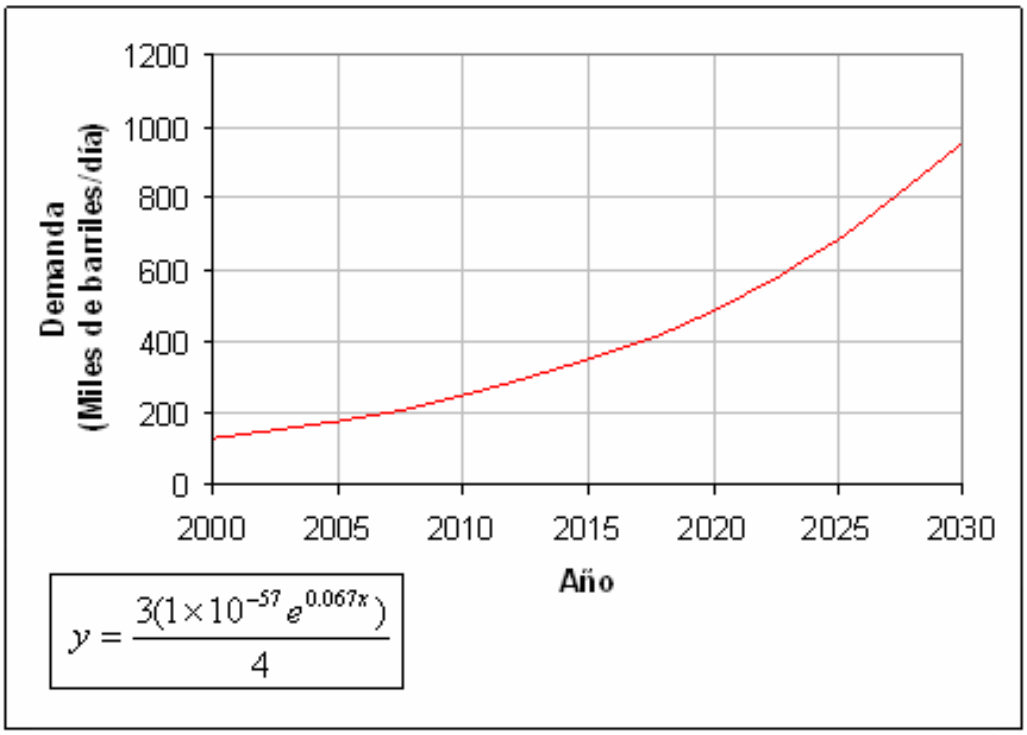
[128] Los valores correspondientes a Octubre, Noviembre y Diciembre de 2007 son ponderados (AMIA, 2007)

durante periodos de 5 años, obteniendo el panorama que servirá de base para comparar la tendencia de tecnologías futuras (Figuras 5.9 y 5.10).



Fuente: Investigación propia, con datos de SETRAVI (2006) y AMIA (2007).

Figura 5.9 *Baseline* de parque vehicular para México al año 2030.

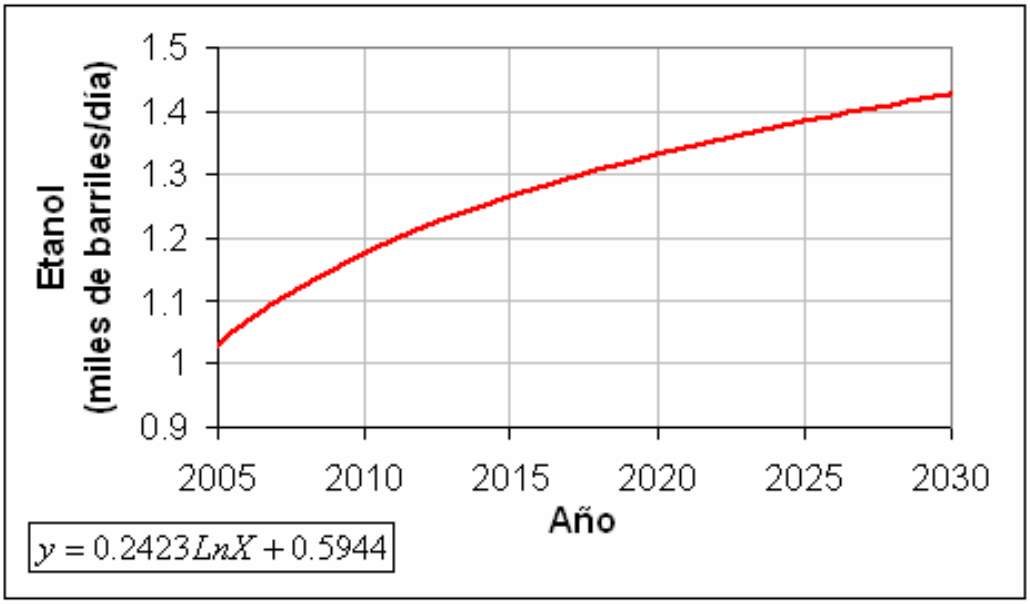


Fuente: Investigación propia, con datos de SETRAVI (2006) y AMIA (2007).

Figura 5.10 *Baseline* de demanda de energético (gasolina) para México al año 2030.

5.4.1.1. Proyección futura de uso de etanol

Para el cálculo de *baseline* de oferta de etanol en México, se consideran los datos de producción en el año 2004, 2005 y 2006, extrapolándolos de forma matemática. El cálculo corresponde a la tendencia en la producción de etanol a base de caña en caso de no existir legislación alguna. Es importante considerar que gran parte del etanol producido actualmente es utilizado para la elaboración de bebidas alcohólicas y no como combustible vehicular. La producción basada en maíz es considerada despreciable debido a que no existe una infraestructura significativa para ello por el momento (2007). La Figura 5.11 muestra los resultados obtenidos.



Fuente: Investigación propia, con datos de SETRAVI (2006) y AMIA (2007).

Figura 5.11 *Baseline* de oferta (producción) de etanol en México al año 2030.

En términos de adaptación, Brasil ha demostrado que es posible, con un mínimo de tecnología, convertir automóviles a modo de aceptar cualquier concentración de bioetanol/gasolina.

Brasil ha declarado abiertamente estar dispuesto a colaborar con México en este rubro, por lo que de aprobarse la legislación mexicana relativa a la inclusión de etanol en gasolinas, de acuerdo con el plan de desarrollo actual y conforme a un esquema similar al utilizado en

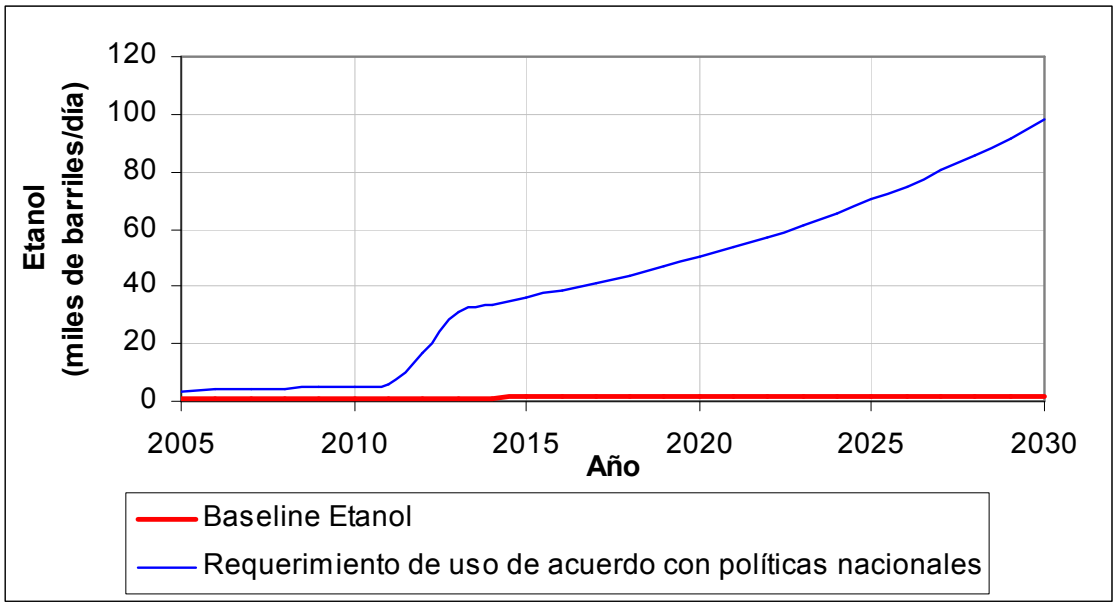
sus inicios por el sector energético en Brasil, se puede considerar un marco similar a la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Uso de etanol en México, de acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos[129].

Consumo	Concentración (%)	Ahorro económico (mil USD[130])
Previo a 2012[131]	2%	$185,355
Año 2012[132]	5.7%	$499,500
Posterior a 2012[133]	10%	$1,982,835

Fuente: Investigación propia, adaptado de Favela (2007) y Trindade (2007).

Considerando los datos anteriores, es posible estimar un comportamiento al año 2030 (Figura 5.12)

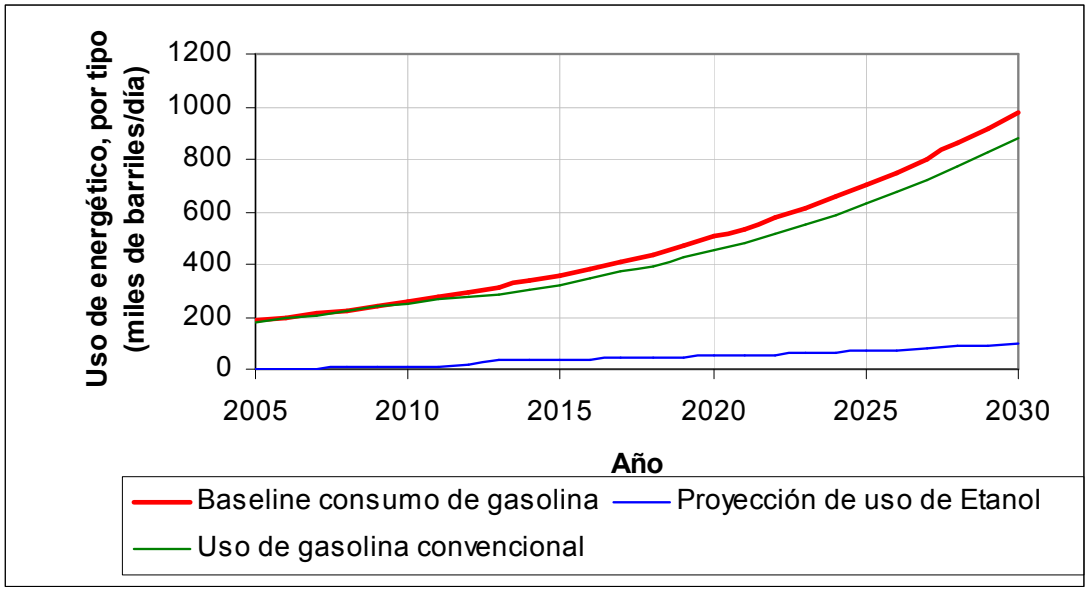


Fuente: Investigación propia, con datos de SETRAVI (2006) y AMIA (2007).

Figura 5.12 Proyección de uso de etanol en México al año 2030.

[129] Actualmente en proceso de revisión (Octubre 2007). La estimación corresponde al escrito original.
[130] Ahorro mediante MDL: Se estima un ahorro de 10.6 millones tCO^2/año a partir de azúcar de caña, para mezcla con 90% de gasolina. Adicionalmente, se considera un ahorro por importación de gasolina y MTBE.
[131] Sustitución de MTBE por ETBE (basado en etanol). Concentración de 2%.
[132] Sustitución total de éteres por etanol. Concentración de 5.7%
[133] Mezcla de 10% de etanol con gasolina (nueva gasolina estándar). Gasolina de tipo E10

De llevarse a cabo tales medidas, se espera un gran repunte en el uso del etanol en relación con la gasolina convencional, destacándose en un ahorro considerable de combustible de origen fósil, tal como lo muestra la Figura 5.13.



Fuente: Investigación propia, adaptado de Newell (2007) y SETRAVI (2007).

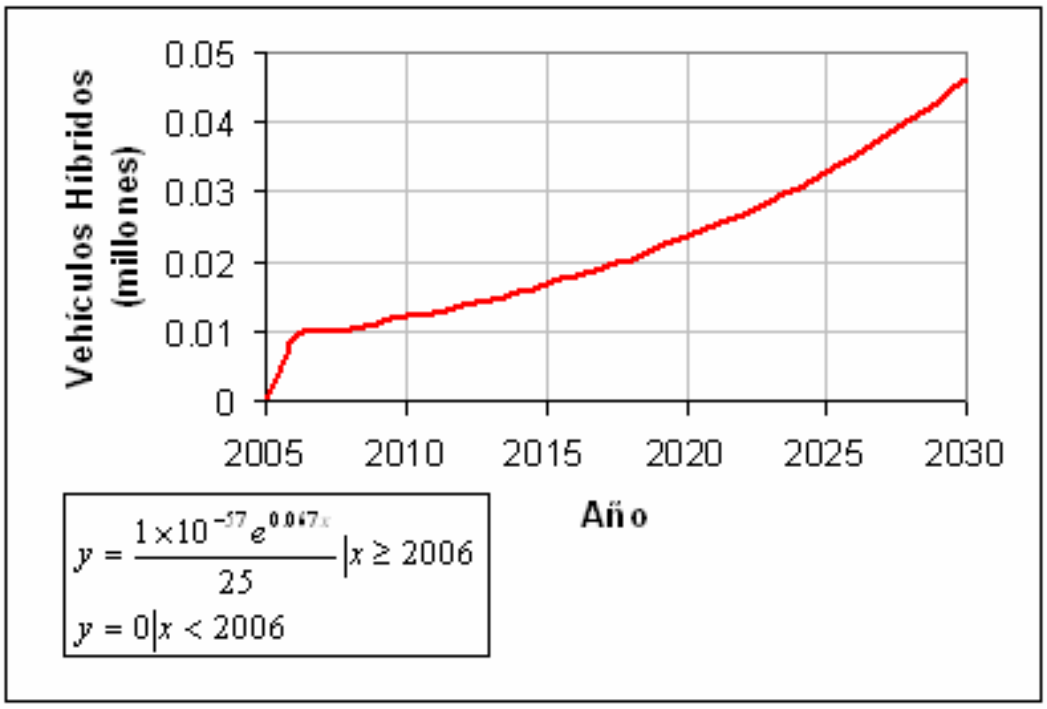
Figura 5.13 Proyección de disponibilidad de etanol y su influencia en el mercado energético al año 2030 en México.

El uso de biodiesel tampoco debe ser pasado por alto. Su uso, muy extendido por Europa, representa una alternativa a los elevados costos de la gasolina en esa región, por lo que la introducción reciente de modelos automotrices que funcionan con este combustible puede ser un indicador de las tendencias futuras. Las metodologías para el desarrollo de biodiesel como MDL son atractivas y pueden representar una opción real para financiar parte de la inversión. Siendo un mercado relativamente nuevo para desarrollarse a gran escala, sería pertinente realizar las mismas preguntas que con el etanol, estableciendo las condiciones más favorables para todos los *stakeholders*.

5.4.1.2. Proyección futura de uso de energía eléctrica (vehículos híbridos)

El desarrollo de vehículos eléctricos en México depende del incentivo otorgado por el gobierno para promover su desarrollo hacia la introducción de un modelo totalmente eléctrico, pasando por las diversas etapas que ello conlleva. Si embargo, dado el corto periodo con el que cuenta este tipo de tecnologías en el país, resulta difícil establecer un panorama futuro.

En el año 2006, se vendieron 500 vehículos híbridos en el distrito Federal. Compañías como Toyota y Ford han anunciado planes para incorporar sus modelos más populares, de manera semejante a Honda, por lo que se espera un gran repunte en este mercado. La cantidad de vehículos híbridos correspondieron al 0.04% del total actual en el año 2006, por lo que para el cálculo de *baseline* se tomará ese incremento porcentual. La Figura 5.14 expresa dicho resultado.



Fuente: Investigación propia, con datos de SETRAVI (2006) y AMIA (2007).

Figura 5.14 *Baseline* de utilización de vehículos híbridos en México al año 2030.

Para el cálculo del escenario, se sugiere un programa de incentivos similar al utilizado en Estados Unidos y se utilizará adicionalmente el esquema sugerido por la OECD, por lo que el panorama puede resultar demasiado optimista. El resultado arrojó una integración de 2.3% para el año 2010, 14.1% para el año 2020 y 29.4% para el año 2030, con respecto al parque vehicular total (Tabla 5.6). La ecuación aproximada para el cálculo anual es la siguiente:

$$y = -0.0014x^3 + 0.0228x^2 - 0.0459x + 0.0212$$

El límite inferior correspondiente al cálculo del ahorro de combustible por concepto de eficiencia considera el promedio de eficiencias de los vehículos cuyos valores fueron obtenidos en el capítulo 4, a la vez que el valor superior corresponde al vehículo híbrido más eficiente en existencia actualmente: Toyota Prius[134]. La ponderación referente a eficiencia es, por lo tanto, un valor conservador, puesto que es de esperarse que la tecnología mejore con el tiempo. La ecuación característica es la siguiente:

$$y = 5 \times 10^{-17} e^{0.0181x}$$

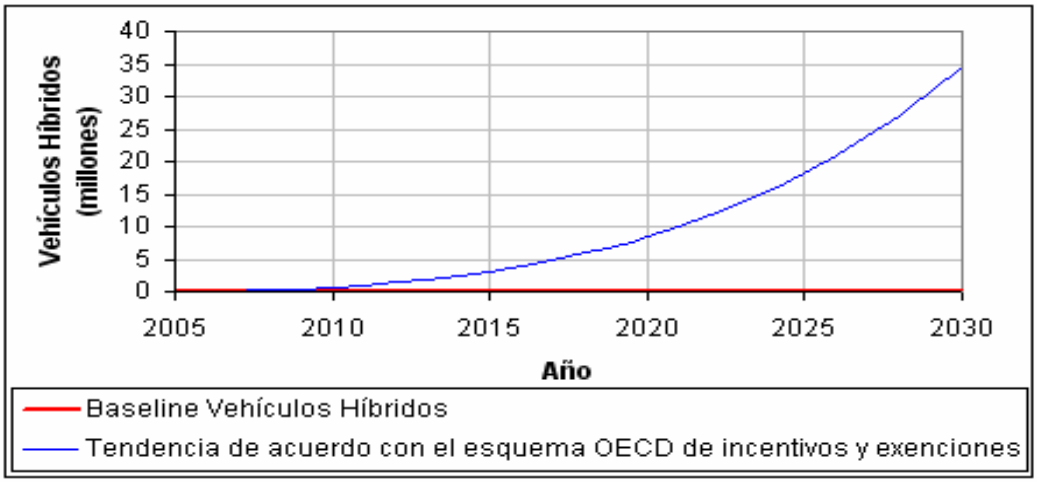
Tabla 5.6 Proyección de uso de vehículos híbridos en México, de acuerdo con el esquema global de desarrollo.

Año	Parque vehicular (millones vehículos)	Vehículos híbridos (millones vehículos)	Porcentaje de mercado	Ahorro de combustible (miles barriles / día)	Porcentaje
2010	30.65	0.70	2.30%	81.09	31.55%
2015	42.84	3.15	7.37%	124.11	34.54%
2020	59.89	8.46	14.14%	189.93	37.81%
2025	83.73	18.23	21.77%	290.66	41.40%
2030	117.05	34.45	29.43%	444.82	45.32%

Fuente: Investigación propia, con datos de AMIA/IEA (2007).

Con respecto al *baseline* establecido, se puede observar un incremento considerable de vehículos híbridos (Figura 5.15).

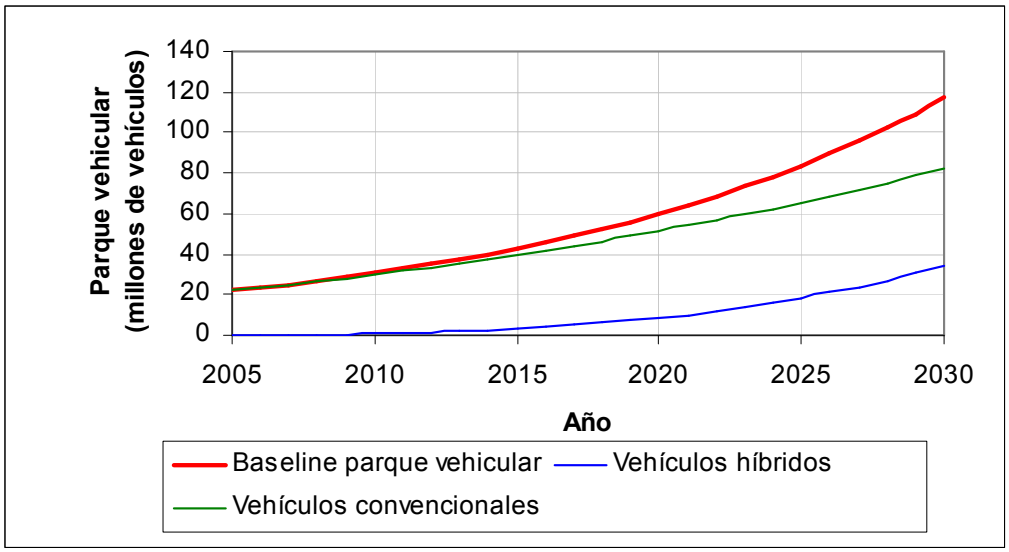
[134] Capítulo 4



Fuente: Investigación propia, con datos de AMIA/IEA (2007) y capítulos anteriores.

Figura 5.15 Proyección de existencia de vehículos híbridos en México al año 2030.

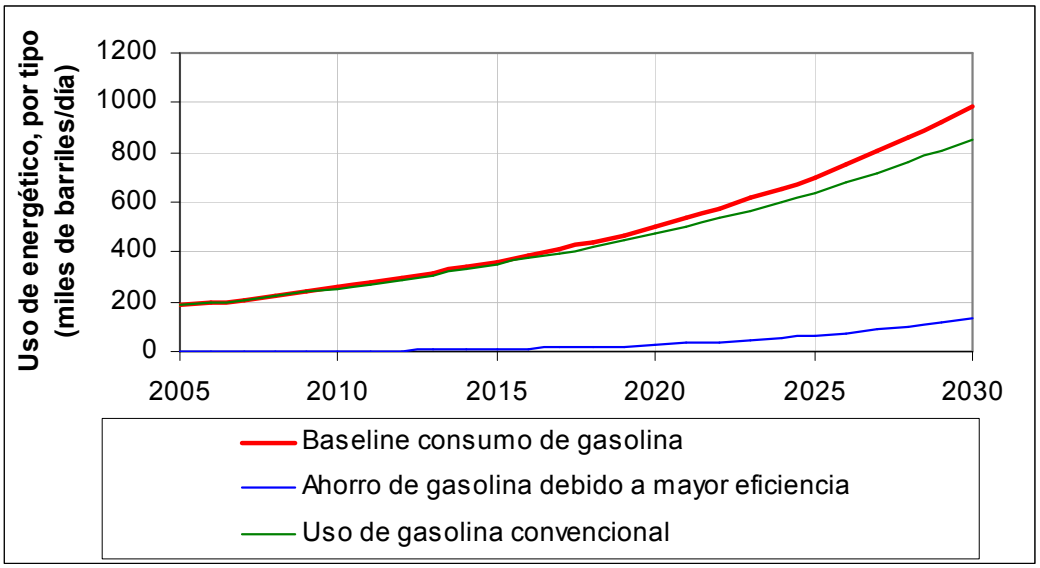
De acuerdo con la proyección anterior, es posible ver un decremento de hasta 30% en el uso de vehículos convencionales (Figura 5.16).



Fuente: Investigación propia, con datos de AMIA/IEA (2007) y capítulos anteriores.

Figura 5.16 Integración de vehículos híbridos en el parque vehicular en México al 2030

El análisis muestra un gran incremento en la utilización de vehículos híbridos. La tendencia se verá reforzada a medida que numerosas marcas y modelos son integrados en el mercado, por lo que de seguirse el esquema propuesto, el ahorro en gasolina se verá reflejado con estos vehículos. (Figura 5.17).



Fuente: Investigación propia, adaptado de Newell (2007) y SETRAVI (2007).

Figura 5.17 Proyección de disponibilidad de etanol y su influencia en el mercado energético al año 2030 en México.

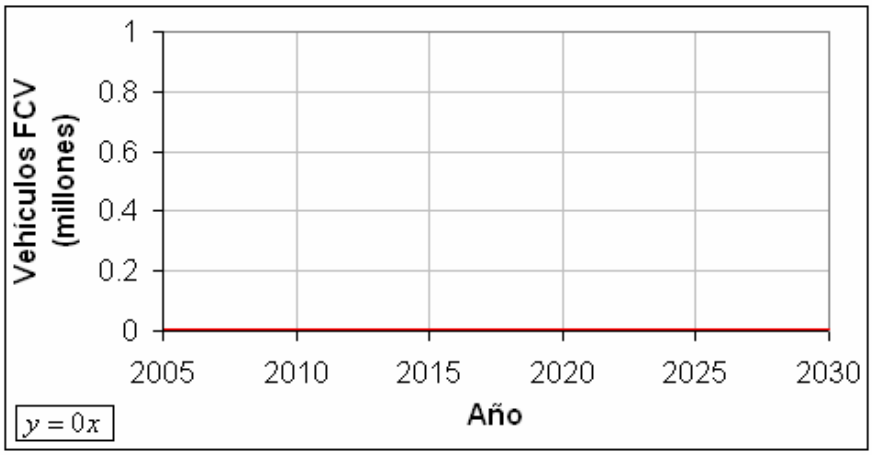
Con la llegada posterior de vehículos con celdas de hidrógeno, los vehículos híbridos comenzarán a disminuir en cantidad, para luego reaparecer como complemento de los vehículos con celdas de combustible, es decir, vehículos híbridos cuyo energético principal es el hidrógeno.

El desarrollo de vehículos totalmente eléctricos, de probar ser una tecnología estable y confiable, surgirá tras los vehículos híbridos, puesto que por el momento aún es necesario reducir el costo de las baterías para proveer un rango de almacenamiento aceptable.

5.4.1.3. Proyección futura de uso de vehículos a base de hidrógeno (celdas de combustible)

Ninguna proyección mundial establece un cambio radical con respecto al energético primario. La proyección más optimista, sugiere una introducción de vehículos con celdas de combustible de aproximadamente 10% del mercado para el año 2030, considerando únicamente los países industrializados donde la vida media de un automóvil es de 5 años (IEA, 2006).

Considerando la situación actual, el cálculo del *baseline* es cero. La incorporación de vehículos en el parque vehicular es de carácter experimental, por lo que puede ser considerada como despreciable. (Figura 5.18).



Fuente: Investigación propia.

Figura 5.18 *Baseline* propuesto de utilización de vehículos FCV en México al año 2030.

Para evaluar el cálculo de un escenario para vehículos FCV, se considera el TLCAN[135], el cual establece una apertura total de mercado en el ramo automotriz para el año 2030. La ecuación característica que define el porcentaje de introducción de mercado[136] es la siguiente:

$$y = 1 \times 10^{-204} e^{0.2303x}$$

[135] TLCAN: Tratado de Libre Comercio de América del Norte
[136] Adaptado de *Fulton, L* (2007).

El porcentaje de reducción de emisiones, mesurado de acuerdo con parámetros obtenidos en capítulos anteriores, se definió mediante la siguiente ecuación característica:

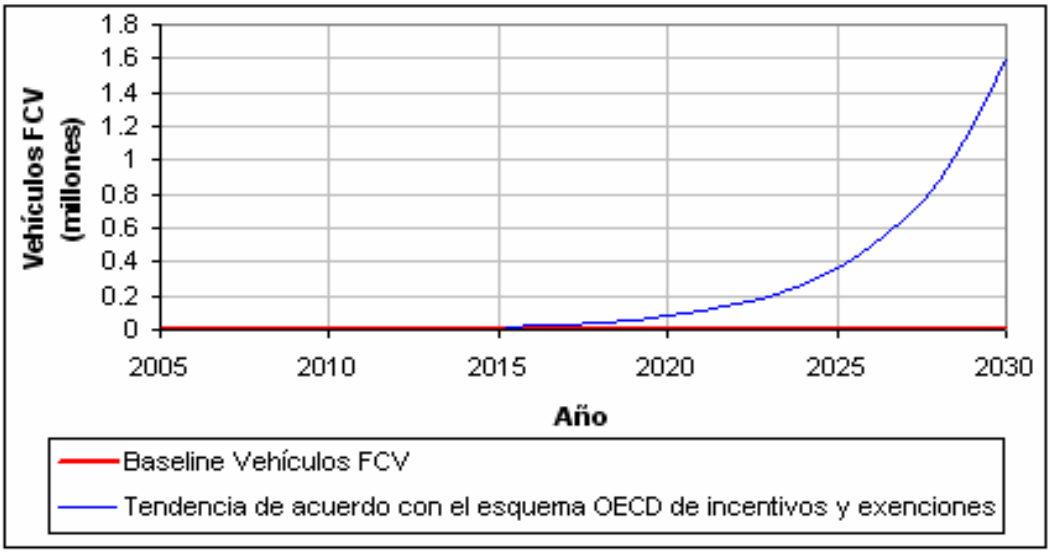
$$y = 30.001 \bullet LnX - 228.23$$

Cabe destacar que el cálculo no considera factores como el reciclaje de automóviles tras finalizar su vida útil, pues únicamente monitorea el parque vehicular. De esta manera, el panorama de utilización de FCV en México. La Tabla 5.7 muestra los valores más representativos de la proyección, y la Figura 5.19 y Figura 5.20 muestran el incremento correspondiente.

Tabla 5.7 Proyección de uso de vehículos con celdas de combustible en México, de acuerdo con el esquema global de desarrollo[137].

Año	Parque vehicular (millones vehículos)	Vehículos *fuel-cell* (millones vehículos)	Porcentaje de mercado	Reducción de Emisiones
2015	42.84	0.0	0%	0%
2020	59.89	0.08	0.14%	0%[138]
2025	83.73	0.36	0.43%	4.37%
2030	117.05	1.60	1.37%	11.80%

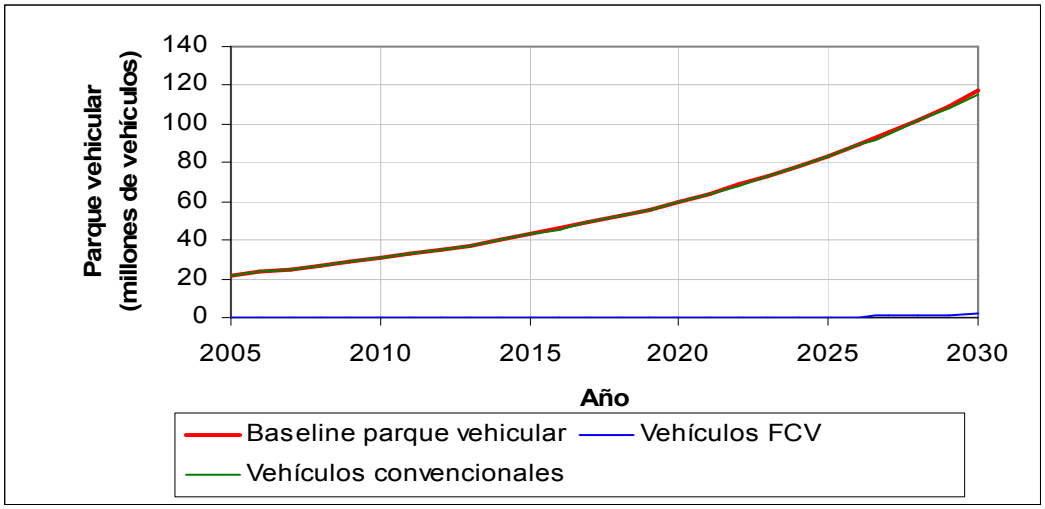
Fuente: Investigación propia, con información de AMIA/IEA (2007).



Fuente: Investigación propia, con datos de AMIA/IEA (2007) y capítulos anteriores.

Figura 5.19 Proyección de existencia de vehículos FCV en México al año 2030.

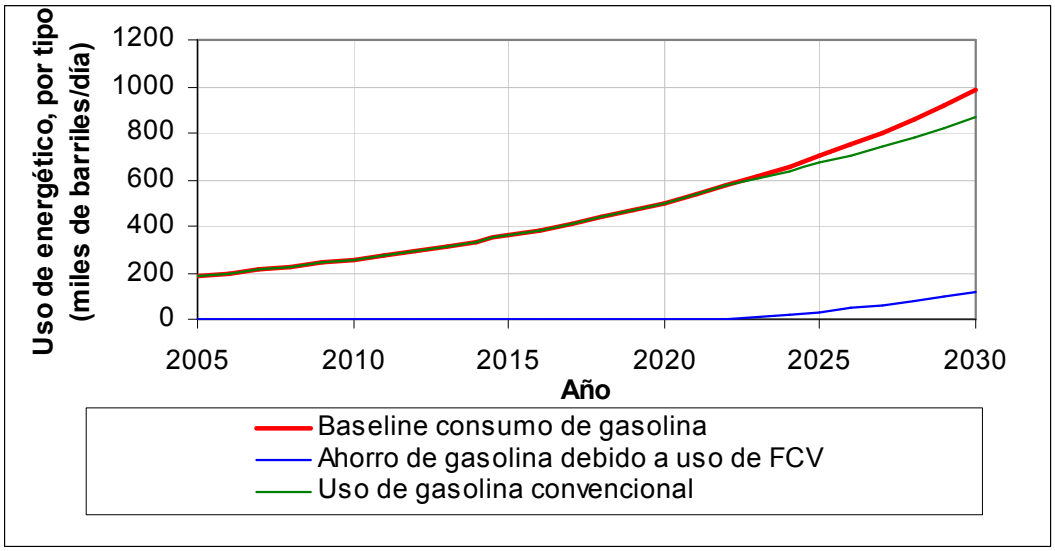
[137] Para el cálculo, se consideran los nueve años de atraso que tomó a México entrar en el mercado de vehículos híbridos, por lo que la tabla se encuentra desfasada con respecto al símil de la OECD.
[138] Valor considerado como despreciable.



Fuente: Investigación propia, con datos de AMIA/IEA (2007) y capítulos anteriores.

Figura 5.20 Integración de vehículos FCV en el parque vehicular en México al 2030.

Finalmente, el ahorro energético consecuente será proporcional a la cantidad de vehículos circulando, por lo que las proyecciones más positivas indican una cantidad mínima de ahorro. La Figura 5.21 indica la tendencia correspondiente.



Fuente: Investigación propia, con datos de OECD/IEA (2007).

Figura 5.21 Proyección de reducción en el uso de energético fósil en México por introducción de celdas de combustible al año 2030.

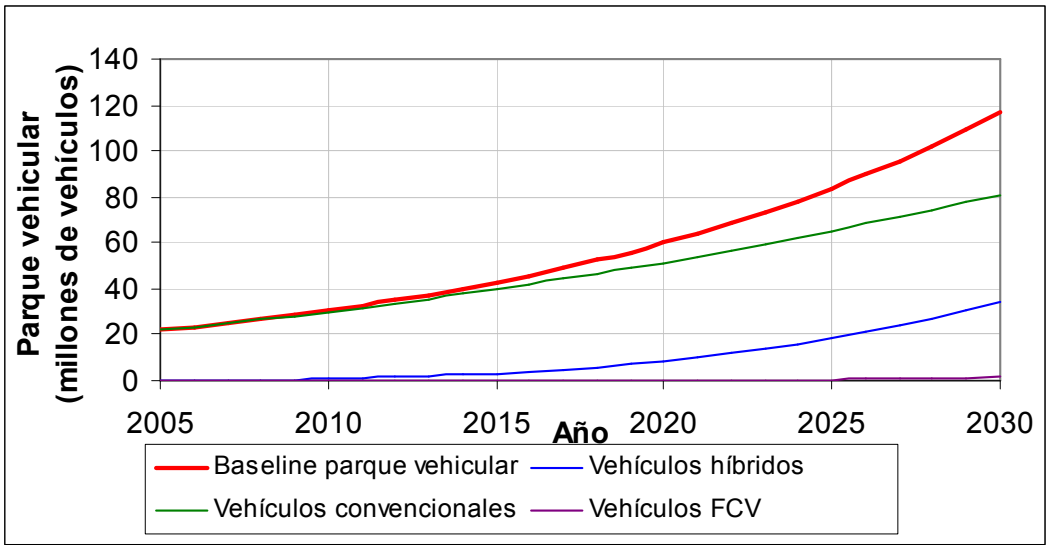
5.4.2. Proyección combinada

Dado que los tres escenarios presentados se complementan, es posible desarrollar un sólo escenario donde se incluyan todos los aspectos considerados. En el análisis, es posible observar un incremento en uso de tecnología de celdas de combustible para el año 2025, y un repunte mucho mayor en lo referente a vehículos híbridos.

Resulta importante considerar que el factor de crecimiento de biocombustibles se encuentra ligado al precio de la gasolina, puesto que el etanol, bajo el esquema planteado, es considerado únicamente como aditivo y no como sustituto de la misma, por lo que se tiene un tope tecnológico.

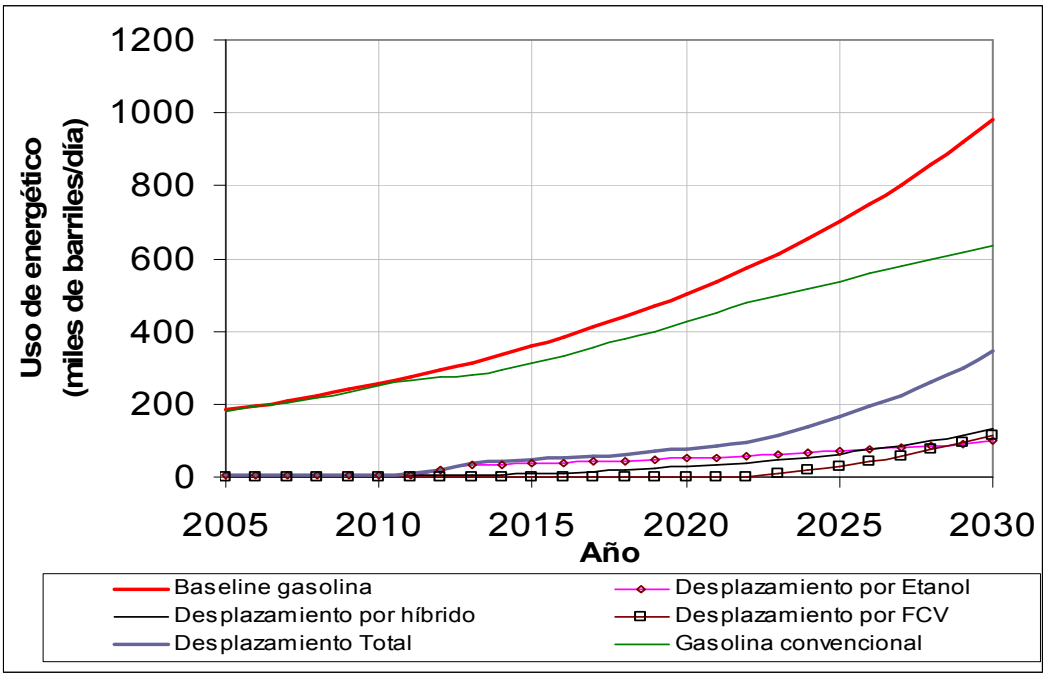
Cuando se alcance ese tope, se observará un repunte de vehículos de celdas de combustible, pero cuyas fechas escapan el alcance de esta tesis. Cuando tal situación ocurra, las ventajas energéticas del cambio de paradigma comenzarán a ser evidentes.

Suponiendo una apertura de mercado en el sector de autotransporte y una legislación favorable, el panorama energético mexicano al año 2030 se muestra a continuación (Figura 5.22 y Figura 5.23).



Fuente: Investigación propia, con datos de OECD/AMIA/IEA (2007).

Figura 5.22 Constitución, por sector, del parque vehicular en México al año 2030.



Fuente: Investigación propia, con datos de OECD/AMIA/IEA (2007).

Figura 5.23 Proyección de uso de energéticos al año 2030, por sector.

Conclusiones

En términos de fuentes alternativas renovables de energía en México, es posible establecer siete puntos fundamentales:

- Biocombustibles: Obtención, no aplicación.

Los biocombustibles son hoy una realidad viable para la disminución en el uso de gasolinas; el punto principal de debate no es su aplicación, sino su obtención. Tras el análisis costo-tiempo-beneficio realizado, la obtención de bioetanol a través de caña de azúcar es el medio que presenta el menor daño al sistema agrícola en México. Paralelamente, la investigación en el campo debe ser llevada a cabo en todo momento, sentando las bases para utilizar paulatinamente plantaciones que no afecten de manera directa al cuadro básico de alimentos. En este sentido, una exhaustiva investigación climática es requerida en México para plantaciones prometedoras como la Jathropha o la Yuca.

Es necesario, también, poner especial énfasis en considerar a todos los *stakeholders*, incluyendo a los campesinos dueños de las tierras de cultivo. Grandes proyectos de ingeniería han sido detenidos por movimientos sociales, por lo que de darse el caso, repercutiría negativamente en el desarrollo, así como en la reputación tanto del inversionista como del país, desmotivando inversión futura y generando conflicto en la zona.

- Legislar de manera congruente e incluyente

El análisis del marco legal demostró contar con párrafos ambiguos referentes a la consideración de todas las posibilidades energéticas a partir de la biomasa, razón por la cual es necesario desarrollar leyes acordes para promover todas las fuentes, y no sólo técnicas conocidas que requieran importación de materia prima o conocimiento extranjero intensivo.

- El fomento que se le da al biodiesel en México es prácticamente nulo.

Siendo un combustible ampliamente utilizado tanto en zonas urbanas como rurales, sencillo de obtener y utilizar, debería considerarse al menos con la misma importancia que el bioetanol.

- Es necesario fomentar proyectos MDL en transporte.

México ha incursionado en una gran cantidad de proyectos MDL, de los cuales solamente uno corresponde al sector transporte: el metrobús metropolitano. De acuerdo con datos obtenidos, se prevé un incremento en la cantidad de proyectos mediante la construcción de biorefinerías, pero es importante considerar que los proyectos MDL no pueden considerar a los biocombustibles como energético principal, puesto que éstos han sido ya cuantificados mediante su análisis de ciclo de vida.

- El desarrollo de vehículos híbridos mitiga el problema, pero no lo soluciona.

La disminución en el uso de gasolina debido al alto rendimiento que se obtiene con vehículos híbridos quedará ultimadamente sobrepasada a medida que incremente el parque vehicular, neutralizando los beneficios y generando todavía más demanda por el crudo.

Sin embargo, el uso de vehículos híbridos en México puede ser considerado como un paso en la dirección correcta, ya que permite el desarrollo de tecnología de baterías, abatiendo el costo de las mismas, a la vez que logra concientizar a la población en materia energética, familiarizándola con la primera fase de una transición hacia una tecnología distinta. Lo mismo ocurre con los biocombustibles.

- Maximización de recursos con el mínimo impacto posible.

Finalmente, los escenarios presentados no son necesariamente excluyentes. El uso de biocombustibles y vehículos híbridos parece ser la tendencia en el corto plazo, por lo que se podría suponer un gran auge comercial y tecnológico en este rubro en la proyección nacional. En el fondo, lo que se pretende con este tipo de medidas, es mitigar el consumo de energético fósil, y ninguna debería ser considerada como una medida de sustitución del

mismo. Una vez más, el impacto petrolero no ocurrirá cuando éste se agote, sino cuando se alcance su máxima producción, por lo que de continuar las tendencias alcistas actuales, el petróleo dejará de ser un recurso energético rentable en poco tiempo.

- Evitar el fenómeno de *modal shifting*.

En una economía basada en precios, como lo es la economía mexicana, resulta contradictorio incentivar el uso de transporte público a la vez que se otorgan créditos para autofinanciamiento. Es necesario, por lo tanto, definir qué vía se pretende seguir, para incentivarla correctamente. El nuevo impuesto a la gasolina, próximo a llevarse a cabo en el año 2008, es prueba más de esta contradicción, puesto que un verdadero programa de austeridad energética incentivaría medidas de transporte más eficiente.

CONCLUSIONES GENERALES.

En temas de ahorro energético para sistemas de transporte en México y en el mundo, ya sea una medida inmediata para ahorro de crudo a corto plazo, o un elaborado plan a largo plazo para avanzar hacia tecnologías renovables y sustentables de abastecimiento y transporte, se pueden destacar puntos clave.

Las deficiencias de mercado e infraestructura, aunado con los precios elevados actuales de ciertos componentes implican que tanto los consumidores como las industrias requieren ser proveídos con incentivos y subsidios substanciales para alejarlos de tecnologías y patrones de transporte mucho más desarrollados y probados, dependientes casi en su totalidad del crudo y cuyo consumo energético es mucho mayor que el que debería ser necesario.

De manera adicional a la cooperación con la industria en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, el gobierno local debe implementar políticas que motiven a los consumidores a adquirir (y a los productores a fabricar) vehículos y combustibles más limpios y de emisiones contaminantes reducidas, las cuales pueden incluir campañas de información y educación ambiental, incentivos fiscales, tratados y acuerdos obligatorios y voluntarios, así como un financiamiento elevado ó mejor destinado para investigación y desarrollo.

Resulta muy importante destacar el rol del gobierno en este aspecto, pues de no promoverse una mejoría en la economía de combustible y reducir la tendencia hacia vehículos más grandes, muchas de las mejoras en la investigación son propensas a ser utilizadas en amenidades, tales como características de lujo o una aceleración mejorada, dejando la eficiencia de combustible estancada o inclusive en deterioro.

Por esta razón, a pesar de ser la investigación y la industria agentes clave para el cambio tecnológico, el gobierno no puede permanecer pasivo. El elevado costo referente al desarrollo de las alternativas discutidas en esta tesis (sistemas eléctricos basados en hidrógeno y biocombustibles derivados de fuentes renovables), aunado con el fracaso de introducir vehículos eficientes de bajo costo (o utilizar a éstos únicamente para justificar modelos menos eficientes), y con el incremento constante en el parque vehicular particular,

representan una tendencia que, de pretender revertir, requeriría necesariamente la participación gubernamental para contribuir con la disminución de costos y agilizar dicha transición.

La legislación Mexicana actual parece agilizar este proceso; sin embargo, el estudio de situaciones donde se ha decidido implementar la misma política, como en EUA, ha convertido a ese país en importador de etanol, puesto que a pesar de ser un gran país productor, su consumo es todavía mayor. A pesar de los planes de expansión en la fabricación de plantas de etanol, México aun no cuenta con la infraestructura necesaria para autoabastecerse de acuerdo con el plan propuesto, por lo que de entrar en vigor la legislación se corre el riesgo de enfrentar una crisis alimenticia mayor para el año 2015. Dependerá, entonces, del manejo responsable de las cláusulas para un desarrollo sustentable y autosuficiente.

El uso responsable de recursos es imperativo para el desarrollo del país, utilizando el crudo pero invirtiendo simultáneamente en investigación para desarrollo de tecnologías alternativas. Resulta también imperativo desarrollar un plan de concientización ciudadana, a modo de destacar que tanto los biocombustibles como los vehículos híbridos no representan una alternativa al crudo, puesto que no es su finalidad el sustituirlo, sino solamente contribuir con la disminución en su uso.

Simultáneamente, los MDL pueden solventar parte del costo asociado con la investigación de nuevas tecnologías, pero, una vez más, es indispensable la participación gubernamental para promover dichos beneficios.

De esta manera, considerando las reservas petroleras de México, y tras analizar todas las propuestas, metodologías, sistemas de producción y experiencias en países donde se estén implementando políticas que favorecen el uso de biocombustibles y energías alternativas, una solución viable en México sería la introducción, en un corto plazo (2007-2012), de vehículos híbridos para incrementar la eficiencia y mejorar la calidad del aire en zonas metropolitanas, pudiendo desarrollar un plan de financiamiento por parte del gobierno, dando fin a programas inútiles que únicamente motivan a la gente a adquirir otro vehículo para circular todos los días. Los biocombustibles no pueden ser considerados como

candidatos para su postulación como Mecanismos de Desarrollo Limpio, pero sí lo pueden ser las plantas que los producen, de manera que es posible obtener una cantidad sustancial de recursos por parte del banco mundial, necesarias para comenzar con dichos proyectos.

Simultáneamente, favorecer el desarrollo en investigación para el desarrollo de biocombustibles a partir de plantaciones no relacionadas con el cuadro alimenticio, tales como la jathropha, la gramínea o el *switchgrass*. El uso de caña de azúcar puede ser considerado como una fuente secundaria para obtención de etanol, previo estudio serio de desarrollo y consideración de *stakeholders*. Por otra parte, incentivar la investigación en el desarrollo de biodiesel, ya que este es mucho más sencillo de obtener, y puede mezclarse más fácilmente.

Previendo una interacción mayor en la política por parte del ciudadano promedio en México rumbo al año 2012, y considerando la reciente radicalización, el papel conjunto del gobierno, la industria y las instituciones educativas serán claves para efectuar el proceso de concientización ciudadana en lo referente a biocombustibles, puesto que difícilmente la sociedad aceptará algo que no conoce.

En un mediano plazo (2012 - 2025 aproximadamente), considerar una posible mezcla de etanol con gasolinas en regiones de México donde sea requerido oxigenarlas (zonas metropolitanas y de altitud considerable), como un programa piloto y de forma totalmente experimental, para estimar el comportamiento y aceptación de la gente, habiendo dejado pasar el suficiente tiempo para contar con la capacidad instalada necesaria para sustituir paulatinamente el MTBE.

A lo largo de este periodo, desarrollar una tecnología similar a la utilizada en Brasil (importarla, inclusive), denominada *flex-fuel*, para poder alimentar los vehículos híbridos de combustible con cualquier concentración de bioenergético. Para este momento, la curva de aprendizaje de tecnología de baterías hará que el costo de un vehículo híbrido sea muy similar a su contraparte no híbrida, representando para el consumidor una decisión evidente la elección del primero al momento de la compra.

Finalmente, en un largo plazo (2025 en adelante), considerando un avance importante en baterías, sería posible concebir la existencia de vehículos urbanos eléctricos con un motor pequeño a gasolina (*flex fuel*), mismos que pueden ser recargados haciendo uso de la red eléctrica nacional. Con el desarrollo posterior de celdas de combustible, será posible reemplazar ese pequeño motor a gasolina por una celda de combustible, con lo cual ultimadamente se desplazaría de forma definitiva el uso de gasolina en vehículos particulares.

Para el desarrollo de la solución propuesta, es muy importante considerar el papel de cada *stakeholder* para poder alcanzar dicha meta: la sociedad, industria y gobierno. En el fondo, los retos para México no son de índole tecnológica, económica ni social. El verdadero reto es la organización para migrar hacia metas comunes.

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1 Cuadro sinóptico de clasificación de biocombustibles.

Figura 1.2 Esquema del proceso de obtención de los diversos biocombustibles.

Figura 1.3 Plantaciones más comunes para producción de etanol.

Figura 1.4 Plantaciones asociadas con la producción de etanol.

Figura 1.5 Gravedad específica de los aceites vegetales y diesel fósil.

Figura 1.6 Viscosidad de los aceites vegetales y diesel fósil.

Figura 1.7 Valor calórico de los aceites vegetales y diesel fósil.

Figura 1.8 Proceso de obtención del biodiesel.

Figura 1.9: Esquema de ganancia neta de energía.

Figura 1.10 Relación de energía para biocombustibles e hidrógeno.

Figura 1.11 Relación de energía para biocombustibles y combustible fósil.

Figura 1.12 Relación de energía para biocombustibles y combustible nuclear.

Figura 1.13 Relación de energía para biocombustibles y celdas de combustible.

Figura 1.14 Relación de energía para biocombustibles y baterías.

Figura 1.15 Emisiones de CO_2 al ambiente por tecnología y proceso.

Figura 1.16 Porcentaje de maíz para producción de etanol en Estados Unidos.

Figura 1.17 Países importadores de maíz y su participación en el mercado mundial.

Figura 1.18 Países exportadores de maíz y su participación en el mercado mundial.

Figura 1.19 Cambios reales en precios de tortilla, pollo y huevo en México.

Figura 1.20 Ciclo de vida del etanol a base de caña de azúcar.

Figura 1.21 Ciclo de vida extendido del etanol a base de caña de azúcar.

Figura 2.1 Proyección esperada por la LCFS.

Figura 2.2 Bomba de reabastecimiento acondicionada en California.

Figura 2.3 Capacidad productiva de Etanol en EUA.

Figura 2.4 Áreas asociadas con el mercado del etanol.

Figura 2.5. Precio mundial de etanol vs precio en Estados Unidos.

Figura 2.6 Precio de etanol vs precio de gasolina en Estados Unidos.

Figura 2.7 Producción de etanol en Brasil durante el programa Pró-Álcool.

Figura 2.8 Porcentaje de automóviles adaptados para etanol vs auntomóviles a gasolina.

Figura 2.9 Producción de automóviles adaptados para etanol vs automóviles a gasolina.

Figura 2.10 Costo de producción de etanol en Brasil.

Figura 2.11 Producción de Etanol de los dos principales productores del mundo.

Figura 2.12 Proyección de aumento en producción en Brasil.

Figura 2.13 Proyección de aumento en exportación en Brasil.

Figura 2.14 Principales países productores de VOME y Etanol.

Figura 2.15 Producción de biodiesel en la CE.

Figura 2.16 Producción de etanol en la CE.

Figura 2.17 Distribución de plantaciones con fines no alimenticios en Francia.

Figura 3.1 Edison y el automóvil eléctrico, circa 1913.

Figura 3.2 Phaeton, boceto de 1902.

Figura 3.3 Sebring-Vanguard y Elcar, 1970.

Figura 3.4 Tesla Roadster, en producción actual.

Figura 3.5 Principio de funcionamiento de un automóvil eléctrico de DC.

Figura 3.6 Principio de funcionamiento de un automóvil eléctrico de AC.

Figura 3.7 Toyota RAV4 eléctrico. Arreglo con 24 baterías de 12 volts.

Figura 3.8 Costo de un automóvil híbrido y uno de gasolina.

Figura 3.9 Rendimiento de un automóvil híbrido y uno de gasolina.

Figura 3.10 Producción de celdas fotovoltaicas en el mundo.

Figura 3.11 Automóvil solar.

Figura 3.12 Principio de funcionamiento de una PEMFC.

Figura 3.13 Principio de funcionamiento de una PAFC.

Figura 3.14 Principio de funcionamiento de una AFC.

Figura 3.15 Principio de funcionamiento de una SOFC.

Figura 3.16 Principio de funcionamiento de una DMFC.

Figura 3.17 Sistema eléctrico de potencia basado en celdas de metanol directo.

Figura 3.18 Sistema eléctrico de potencia basado en celdas de metanol directo.

Figura 3.19 Emisión de CO_2, con los valores reales más eficientes en el mercado.

Figura 4.1 Bomba despachadora en Estocolmo, Suecia.

Figura 4.2 Diseño básico de un autobús con celdas de combustible.

Figura 4.3 Países involucrados en el programa CUTE/ECTOS.

Figura 4.4 Participación, por ciudad, en el programa CUTE/ECTOS.

Figura 4.5 Reducción de emisiones gracias a ventas de automóviles híbridos en Japón.

Figura 4.6 Estaciones de reabastecimiento de hidrógeno en Japón.

Figura 4.7 Estación de recarga y ruta del autobús experimental de la JHFC, en Japón.

Figura 4.8 Estación de recarga y ruta de los autobuses de celdas de combustible utilizados entre Nagakute y Seto, en Aichi, Japón.

Figura 4.9 Autobuses utilizados en el transporte de pasajeros entre Tokoname – Chita Handa, en Japón.

Figura 5.1 Tabla comparativa de producción de etanol.

Figura 5.2 Regiones competitivas para producción de maíz en México.

Figura 5.3 Regiones competitivas para producción de caña de azúcar en México.

Figura 5.4 Situación mundial sobre la ratificación del protocolo de Kyoto.

Figura 5.5 Emisiones de GEI en el mundo.

Figura 5.6 Participación de entidades en un proyecto MDL.

Figura 5.7 Panorama global de emisiones de GEI al ambiente, por sector.

Figura 5.8 Ventas totales de vehículos en México, por año.

Figura 5.9 Baseline de parque vehicular para México al año 2030.

Figura 5.10 Baseline de demanda de energético (gasolina) para México al año 2030.

Figura 5.11 Baseline de oferta (producción) de etanol en México al año 2030.

Figura 5.12 Proyección de uso de etanol en México al año 2030.

Figura 5.13 Proyección de disponibilidad de etanol y su influencia en el mercado energético al año 2030 en México.

Figura 5.14 Baseline de utilización de vehículos híbridos en México al año 2030.

Figura 5.15 Proyección de existencia de vehículos híbridos en México al año 2030.

Figura 5.16 Integración de vehículos híbridos en el parque vehicular en México al 2030.

Figura 5.17 Proyección de disponibilidad de etanol y su influencia en el mercado energético al año 2030 en México.

Figura 5.18 Baseline propuesto de utilización de vehículos FCV en México al año 2030.

Figura 5.19 Proyección de existencia de vehículos FCV en México al año 2030.

Figura 5.20 Integración de vehículos FCV en el parque vehicular en México al 2030.

Figura 5.21 Proyección de reducción en el uso de energético fósil en México por introducción de celdas de combustible al año 2030.

Figura 5.22 Constitución, por sector, del parque vehicular en México al año 2030.

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.1 Plantaciones asociadas con la producción de etanol.

Tabla 1.2 Densidad promedio y valor calórico del biodiesel y diesel fósil.

Tabla 1.3 Uso de energía y valor neto de energía por galón con créditos de co-productos, 2001.

Tabla 1.4 Balance energético para la producción de etanol.

Tabla 1.5 Densidad específica, volumétrica y toneladas de CO_2 por Kg utilizado para los diversos biocombustibles, según su estado de agregación molecular.

Tabla 1.6 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para los diversos combustibles fósiles.

Tabla 1.7 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para las diversas tecnologías de celdas de combustible.

Tabla 1.8 Densidad específica, volumétrica y energía por CO_2 para las diversas tecnologías de baterías.

Tabla 2.1 Entidades sujetas a regulación de RFS.

Tabla 2.2 metas del DOE.

Tabla 2.3 Subsidios otorgados según la Energy Policy Act, para cada tipo de tecnología.

Tabla 2.4 Incremento esperado de biocombustibles en la CE.

Tabla 2.5 Fuentes alternativas de energía al año 2020 en la CE.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de la tecnología todo eléctrico.

Tabla 3.2 Tabla comparativa de la tecnología híbrida.

Tabla 3.3 Tabla comparativa de la tecnología solar.

Tabla 3.4 Comparativo entre diferentes tipos de celdas de combustible.

Tabla 3.5 Comparativo de la tecnología de celdas de combustible, por tipo.

Tabla 3.6 Comparativo entre vehículos híbridos y convencionales.

Tabla 3.7 Comparativo entre diferentes fuentes energéticas automotrices.

Tabla 3.8 Comparativo de emisiones de CO_2 entre diferentes fuentes energéticas automotrices.

Tabla 4.1 Vehículos que clasifican para el Tax Credit otorgado por el IRS.

Tabla 4.2 Comparativo entre tecnologías de autobuses para el programa CUTE/ECTOS.

Tabla 4.3 Incentivos otorgados a vehículos nuevos en Japón.

Tabla 5.1 Conocimiento y uso de plantaciones para obtención de etanol en México.

Tabla 5.2 Eventos más relevantes en el desarrollo del protocolo de Kyoto.

Tabla 5.3 Proyectos mexicanos del MDL con cartas de no objeción.

Tabla 5.4 Áreas cubiertas con una metodología para el sector transporte mediante proyectos MDL.

Tabla 5.5 Uso de etanol en México, de acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Tabla 5.6 Proyección de uso de vehículos híbridos en México, de acuerdo con el esquema global de desarrollo.

Tabla 5.7 Proyección de uso de vehículos con celdas de combustible en México, de acuerdo con el esquema global de desarrollo.

RELACIÓN DE ABREVIATURAS

- *AC - Corriente alterna.*
- *ACEEE - American Council for an Energy Efficient Economy.*
- *ACU - Agricultural Chemical Usage.*
- *ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie.*
- *ADM - Archer Daniels Midland.*
- *AFC - Alkaline Fuel Cell.*
- *AMIA - Asociación Mexicana de la Industria Automotriz.*
- *AND - Autoridad Nacional Designada.*
- *ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.*
- *ARMS - Agricultural Resource Management Survey.*
- *B# - Concentración de Biodiesel (porcentaje).*
- *BP - British Petroleum.*
- *BRT - Bus Rapid Transit.*
- *BUF - Be Utility Free.*
- *CAFE - Corporate Average Fuel Economy.*
- *CAP - Common Agricultural Policy.*
- *CARB - California Air Resources Board.*
- *CBT - Cross Border Technology.*
- *CE - Comunidad Europea.*
- *CEESP - Centro de Estudios Económicos del Sector Privado.*
- *CENAL - Comissão Executiva Nacional do Álcool.*
- *CER - Certified Emission Reduction.*
- *CIMA - Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool.*
- *CIVITAS - City Vitality Sustainability.*
- *CMNUCC - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.*
- *CNAL - Conselho Nacional do Álcool.*
- *CNG - Compressed Natural Gas.*
- *COMEGEI - Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero.*
- *COP - Conferencia de las Partes.*
- *CUTE - Clean Urban Transportation for Europe.*

- *DC - Corriente Directa.*
- *DDGS - Distiller's Dried Grains with Solubles.*
- *DME - Di-Metil Éter.*
- *DMFC - Direct Methanol Fuel Cell.*
- *DOE - Department of Energy.*
- *E# - Concentración de etanol (porcentaje).*
- *EBB - European Biodiesel Board.*
- *EBIO - European Bioethanol Fuel Association.*
- *ECTOS - Ecological City Transport System.*
- *ENAA - Engineering Advancement Association of Japan.*
- *EOP - European Oil Products.*
- *EPA - Environmental Protection Agency.*
- *ERS - Economic Research Service.*
- *ETBE - Etil Tert Butil Éter.*
- *FCV - Fuel Cell Vehicle.*
- *FONHIDRO - Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno.*
- *FUP - Frente de Uniformización de Precios.*
- *GEI - Gases de Efecto Invernadero.*
- *GM - General Motors.*
- *GPC - Global Petroleum Club.*
- *GW - Gigawatt.*
- *ICO-IDAE - Instituto de Crédito Oficial – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.*
- *IEA - International Energy Agency.*
- *IMCO - Instituto Mexicano para la Competitividad.*
- *IRS - Internal Revenue Service.*
- *ISAN - Impuesto Sobre Autos Nuevos.*
- *JARI - Japan Automobile Research Institute.*
- *JE - Junta Ejecutiva.*
- *JHFC - Japan Hydrogen Fuel Cell.*
- *LCA - Life Cycle Assessment.*
- *LCFS - Low Carbon Fuel Standard.*
- *LNG - Liquefied Natural Gas.*

- *MDL - Mecanismo de Desarrollo Limpio.*
- *METI - Ministry of Economy, Trade and Industry.*
- *MTBE - Metil Tert Butil Éter.*
- *MJ - Megajoule.*
- *MPG - Millas por Galón.*
- *MW - Megawatt.*
- *NAICS - North American Industry Classification System.*
- *NASA - National Aeronautics and Space Administration.*
- *NASS - National Agricultural Statistics Service.*
- *NBB - National Biodiesel Board.*
- *NFCBTI - National Fuel Cell Bus Technology Initiative.*
- *NHP - New Hydrogen Project.*
- *NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration.*
- *OCE - Office of the Chief Economist.*
- *OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development.*
- *OMC - Organización Mundial de Comercio.*
- *PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell.*
- *PEMEX - Petróleos Mexicanos.*
- *PEMFC - Proton Exchange Membrane Fuel Cell.*
- *PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle.*
- *PICC - Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.*
- *PNH - Plan Nacional de Hidrógeno.*
- *PROGRESS - Program for Real Energy Security.*
- *RCE - Reducciones Certificadas de Emisiones.*
- *RESS - Rechargeable Energy Storage System.*
- *RFA - Renewable Fuel Association.*
- *RFS - Renewable Fuel Standard.*
- *RNH - Red Nacional del Hidrógeno.*
- *SEMARNAT - Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.*
- *SETRAVI - Secretaría de Transportes y Vialidad.*
- *SIC - Standard Industrial Classification.*
- *SOFC - Solid Oxide Fuel Cell.*
- *TLCAN - Tratado de Libre Comercio de América del Norte.*

- *UNFCC - United Nations Framework Convention on Climate Change.*
- *UNJLC - United Nations Joint Logistics Center.*
- *URE - Unidades de Reducción de Emisiones.*
- *USDA - United States Department of Agriculture.*
- *VOME - Vegetable Oil Methyl Ester.*
- *ZEV - Zero Emission Vehicle.*

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

- *Adamson, K.A. (2004) "The 2004 Fuel Cell Bus Survey" Fuel Cell Today, EUA, 2004.*
- *Alves Torcuato, S. (2005) "Álcool: Projeção Da Produção E Exportação No Período 2005/06 A 2015/16". Brasil, 2005.*
- *AMS (2003) "American Solar Challenge 2003". EUA, 2003.*
- *ANFAVEA (2001) "A Indústria Automobilística Nacional". Brasil, 2001*
- *Baker, T. (2005) "Graphite Nanofiber Catalyst Systems" EUA, 2005.*
- *BBC (2005) "Clean Coal Technology: How it works". Artículo publicado en BBC News. EUA, 2005*
- *BEN (2001/1990/1986) "Balanço Energético Nacional". Recopilación de datos oficiales. Brasil, 2004*
- *Bossel, U. (2003) "Well to Wheel Studies, Heating Values, and the Energy Conservation Principle". 2003*
- *Bulleid, R. (2006) "planning Seeds on the Forecourt". Boletín mensual de la publicación Environmental Finance. Inglaterra, 2006*
- *Cerro, E. y Cerro, J.A. (2006) "Azúcar en MERCOSUR: Una visión desde Argentina". Memorias del XIV International Economic History Congress..Finlandia, 2006*
- *Cropper, M. (2003) "Fuel Cell Market Survey: Buses" Fuel Cell Today, EUA, 2003.*
- *Eberhard, M. y Tarpenning, M. (2005) "The 21st Century Electric Car". EUA, 2005.*
- *EBIO (2006), Citado por Calles Jose A. (2007). "España a la cabeza de Europa en la producción de bioetanol". España, 2007.*
- *ECCJ (2006) "Top Runner Program Revised Edition". Japón, 2006.*
- *Encyclopedia of physical sciences and technology, 2001.*
- *FCW (2003) "Types of Fuel Cells".EUA, 2003.*
- *Fernández Bremauntz, A. (2007)."Externalidades asociadas a la producción y uso de bioetanol". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *Flannery, T. (2007) "Coal can't be clean". Artículo publicado en Herald Sun Newspaper. Australia, 2007*
- *Fujimori, M. (2007) "Implementación de Proyectos MDL de Biocombustibles o Cambio de Combustible en el Sector Transporte". Perú, 2007.*
- *General Motors, Argonne National Laboratory, BP, ExxonMobil y Shell (2001). "Well to Tank Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Transportation Fuels". EUA, 2001.*

- *Grubel, H. (2005) "Clean Urban Transport for Europe Hydrogen Infrastructure". Vattenfall, Alemania, 2005.*
- *Hénard, M. Audran, X. (2003) "France agricultural situation: French Biofuel Situation", Global Agriculture Information Network, GAIN. Francia, 2003.*
- *Hirano, I., Kawatsu, S. (2006) "Japan's Fuel Cell Bus Demonstration Project". Japan Automobile Research Institute. Japón, 2006.*
- *Hoffmann, P. (2004) "Hacia una Economía Basada en Hidrógeno". Volumen 4 Número 1, traducido por José Solano. Venezuela, 2004.*
- *IMCO con datos de Secretaría de Economía y Banco de México. Citado por Newell R. (2007)."Bio-combustibles: impacto en las cadenas agro-alimentarias". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *Institute of Transportation Studies (2007) Citado por Sperling, D. "Biofuels. Yellow is green? And then what?". EUA, 2007.*
- *Jenvanitpanjakul.P. (2001 a,b,c) "Biodiesel: Alternative Fuels V. Science and Technology". Singapur, 2001*
- *Kiehne, H.A. (2003) "Battery Technology Handbook". EUA, 2003.*
- *Kirschenhofer, O. (1999) "SFFM and SNOM of Heterogeneous Materials". Alemania, 1999.*
- *Kodjak, D. (2007)."Regulación y certificación de Biocombustibles en el mundo". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *Kuik, O. (2006) "Environmental Innovation Dynamics and in the Automotive Industry". Amsterdam, Holanda, 2006.*
- *López, A.C. (2006) "Iniciativa de ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos".México, 2006.*
- *Mata, J. (2007). "Eficiencia Energética y Costos Económicos de la Producción de Biocombustibles". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *McAlister, R. (2003) "The Solar Hydrogen Civilization". EUA, 2003.*
- *McElroy, M. (2006) "The Ethanol Illusion". Artículo publicado en Harvard Magazine. EUA, 2006*
- *Mena Brito C. (2007)."Implicaciones ambientales de la producción y uso de los biocombustibles". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *Minato, K. (2005) "Clean Vehicles Promotion Policies in Japan". Japan Automobile Research Institute. Japón, 2005.*
- *NATURE (2006), "International weekly journal of science" Numero 444. EUA, 2006*

- *Neij, J. (2004) "Clean Vehicles in Stockholm". Publicación Die Zeit. Suecia, 2004.*
- *Neumann, K.T. (2007) "Hybrid cars increasingly popular in Germany". Publicación Welt Am Sonntag. Alemania, 2007.*
- *Newell, R. (2007). "Biocombustibles: Impacto en las cadenas Agroalimentarias". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *NMAH (2006) "Edison After Forty". EUA, 1913.*
- *NS Agrodiario (2007) "Brasil construirá una usina de alcohol y azúcar por mes". Artículo periodístico. Argentina, 2007.*
- *NyLund & Lawson (2001) "Exhaust Emissions from Natural Gas Vehicles". EUA, 2001.*
- *Pimentel D., Patzek, Tad W. (2005) "Natural Resources Research". EUA, 2005.*
- *RFA (2006) "Today's US Ethanol Industry: Helping Break America's Addiction to Oil", EUA, 2006.*
- *RFA (2006), Citado por Trindade (2007)." Factores determinantes para el desarrollo de biocombustibles en Brasil y EUA". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *SCIENCE (2006), Citado por Mena Brito C. (2007)."Implicaciones ambientales de la producción y uso de los biocombustibles". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *SENER-BID-GTZ (2007). "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México". México, 2007.*
- *Shapouri H., Duffield J., McAloon A., Wang M. (2005) "The 2001 net energy balance of corn ethanol". EUA, 2005.*
- *Thomas, S. y Zalbowitz, M (1999). "Fuel Options for Solid Oxide Fuel Cells". EUA, 1999*
- *Trindade, S. (2007)."Factores determinantes para el desarrollo de biocombustibles en Brasil y EUA". Memorias del Seminario sobre Biocombustibles. México, 2007.*
- *UNFCCC/CCNUCC (2006) "Approved Baseline Methodology for Bus Rapid Transit Project AM0031". México, 2006.*
- *UNFCCC/CCNUCC (2006) "Baseline Methodology for Bus Rapid Transit Projects". México, 2006.*
- *UNICA (2006), Citado por revista EXAME (2006)."Produção brasileira de alcohol" Brasil, 2006.*
- *US EPA (2007 a,b) "Regulation of fuels and fuel additives: Renewable Fuel Standard Program". Extracto del Energy Policy Act, páginas 23899 a 23948. EUA, 2007*

- *Van Thuijl, E., Roos, C.J., Beurskens, L.W.M. (2003) "An overview of Biofuel Technologies, Markets and Policies in Europe", Energy Research Centre of the Netherlands. Holanda, 2003.*
- *Weiss P. (2004). "Iron Power: eking more juice from batteries". Artículo publicado en Science News. EUA, 2004.*
- *Wert, R. (2007) "CAFE Standards Raise". Blog publicado en jalopnik.com. EUA, 2007.*

Referencias de internet

- *AMIA. Página Web: www.amia.com.mx*
- *Be Utility Free. Página web: www.beutilityfree.com*
- *Biodiesel Brasil. Página web: www.biodieselbr.com*
- *Cars Autoblog. Página web: http://carscarscars.blogs.com/index/2004/08/current_hybrid_.html*
- *CDM executive board (Mesa ejecutiva de MDL). Página web: http://cdm.unfccc.int/EB/index.html*
- *CFE (2005). Página web http://www.cfe.gob.mx*
- *City Vitality Sustainability Program. Página web: www.civitas-initiative.org/cms_pages.phtml?id=348&lan=en*
- *COMEGEI. Desarrollo de Proyectos MDL. Página Web: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/secprivcc/secprivcc.html#desarrollomdl*
- *Energy Efficiency and Renewable Energy. DOE. Página web: www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/*
- *Energy Information Administration. Página web: www.eia.doe.gov*
- *Environmental Finance. Página Web: http://www.environmental-finance.com/onlinews/05jancdm.htm*
- *EPA. Página web: www.fuelefficiency.gov*
- *European Commission: Member states reports in the frame of Directive 2003/30EC. Página web http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm*
- *Fuel Cell Bus Club. Página web: www.fuel-cell-bus-club.com*
- *http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle*
- *http://www.apec-vc.or.jp/solar_r/outline/outlne07.htm*
- *http://www.herelectricvehicle.com/advantages.html*
- *Instituto de Economía Agrícola. Página web: www.iea.sp.gov.br*

- *International Energy Agency. Página web: http://www.iea.org/*
- *International Energy Agency. Página web: http://www.iea.org/Textbase/papers/2004/transport.pdf*
- *Inventors website. Página web: about.inventors.com*
- *JD Power and Associates. Página web: www.jdpower.com*
- *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Página web: http://www.biodiversidadla.org/content/view/full/34669*
- *Mecanismo de desarrollo limpio. Instituto Nacional de Ecología. Página web: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/secprivcc/secprivcc.html#mecanismodlm*
- *Ministerio Da Ciência & Tecnología. Página web: www.mct.gov.br*
- *Moses Program. Página web: www.moses-europe.org*
- *National Biodiesel Board. Página web: www.nbb.org*
- *Nuclear Energy Institute. Página web: www.nei.org*
- *Objetivos de la Red Nacional de Hidrogeno. Página web: http://h2unam.gurunet.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=26*
- *Organisation for Economic Co-operation and Development. Página web: www.oecd.org*
- *http://www.whybuyhybrid.com/*
- *ORNL. Bioenergy Conversion Factors. Página web: http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html*
- *PTT Public Limited Company. Página web: www.pttplc.com*
- *Red Nacional de Hidrógeno. Página web: http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/194/Articulos/Tecnologiadelhidrogeno/Rednacional01.html*
- *Reporte de juntas MDL. Página web: http://cdm.unfccc.int/EB/index.html*
- *SETRAVI. Página web: www.setravi.df.gob.mx*
- *Silicon Solar Company. Página web: www.siliconsolar.com/solar-panel-modules.php*
- *Tesla Motor Company. Página web: www.teslamotors.com*
- *The Global Petroleum Club. Página web: www.globalpetroleumclub.com*
- *The World Factbook. Página web: www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/*
- *UCSUSA. Página web: http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.ucsusa.org/assets/images/global_warming*

- *Union of Concerned Scientists (2007). Página web: www.ucsusa.org*
- *União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Página web: www.portalunica.com.br*
- *United Nations Joint Logistics Center. Página web: www.unjlc.org*
- *United States Department of Agriculture. Página web: www.usda.gov*
- *US Department Of Energy (2007). Página web: http://www.energy.gov/taxbreaks.htm*
- *US Environmental Protection Agency (2007). Página web: http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2007/May/Day-01/a7140a.htm*
- *US Fuel Cell Council. Página web: www.usfcc.com/resources/outreachproducts.html#form*
- *Wikipedia.com. Página web: http://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Framework_Convention_on_Climate_Change #Annex_I_and_Annex_II_Countries.2C_and_Developing_Countries*
- *WTRG Economics. Página web: www.wtrg.com*
- *Yahoo! Autos. Página web: autos.yahoo.com*