La ruta de México hacia una economía sustentable de baja intensidad de carbono

Capítulo VIII
Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero para México

Contrato No. SE-S 09/2010

centro mario molina

Folio No. 001

ÍNDICE

VIII Estrategias de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para México 8
VIII.1 Eliminación de subsidios a la energía 10
VIII.2 Incrementar la eficiencia del consumo final de energía 13
VIII.2.1 Estrategias para mejorar la eficiencia energética en el Transporte 13
VIII.2.1.1 Aplicación de una norma de eficiencia energética para vehículos ligeros 17
VIII.2.1.2 Cambio modal de transporte de pasajeros 20
VIII.2.1.3 Renovación del parque vehicular de carga 21
VIII.3 Generación Limpia de Electricidad 22
VIII.3.1 Estrategia de generación eléctrica de baja intensidad de carbono 22
VIII.3.2 Acciones para Reducir Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 23
VIII.3.2.1 Energía Solar 24
VIII.3.2.2 Energía Eólica 25
VIII.3.2.3 Intermitencia 26
VIII.3.2.4 Energía Geotérmica 27
VIII.3.2.5 Energía Hidroeléctrica 28
VIII.3.2.6 Energía Nuclear 29
VIII.3.2.7 Ciclos combinados a gas natural con captura de CO_2 30
VIII.3.2.8 Estrategia Integrada 31
VIII.3.2.9 Comparación entre la línea base y la estrategia de generación eléctrica de bajo contenido de carbono del sistema eléctrico nacional para el periodo 2010 - 2024. 32
VIII.3.2.10 Capacidad 33
VIII.3.2.11 Generación de Energía Eléctrica 34
VIII.3.2.12 Emisiones de CO_2 35
VIII.4 Estrategias para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero de la Industria Petrolera 36
VIII.4.1 Instalación de plantas de alta eficiencia para la generación conjunta de vapor y electricidad (cogeneración) 36
VIII.4.1.1 Modernización de calderas de vapor, recuperadoras de calor y hornos de pirolisis 38
VIII.4.1.2 Instalación de quemadores e incineradores de alta eficiencia 40
VIII.4.1.3 Cambio de los sellos húmedos por sellos secos, en los compresores instalados en los Centros Procesadores de Gas Natural y estaciones de recompresión para eliminar las fugas de metano 41
VIII.4.1.4 Modernización y cambio de aislamiento en tuberías y equipos 42
VIII.4.1.5 Sustitución de cambiadores de calor grandes y tradicionales por cambiadores más eficientes tipo Packinox 43
VIII.4.1.6 Sustitución de trampas de vapor 44
VIII.5 Desarrollo sustentable de los Bioenergéticos 45
VIII.5.1 Legislación 45
VIII.5.2 Potencial 46
VIII.5.3 Implicaciones ambientales 47
VIII.5.4 Tecnologías 49
VIII.5.5 Legislación Europea 51

FIGURAS

Figura VIII.1 .Subsidios a la energía: transicion necesaria a la promocion de energías verdes....12
Figura VIII.2 Estructura de consumo del sector transporte 1998-2008 (Petajoules)14
Figura VIII.3 Emisiones históricas anuales de CO_2 16
Figura VIII.4 Eficiencia energética actual promedio de las flotas vehiculares del 2008 y metas regulatorias por región o país (millas por galón de acuerdo al ciclo CAFE*) 17
Figura VIII.5 Propuesta normativa en el contexto internacional y en millas por galón estandarizado a ciclo CAFE 18
Figura VIII.6 Eficiencia energética vehículos nuevos vendidos en México año 2009 y valores de la propuesta normativa del Centro Mario Molina....19
Figura VIII.7 Fotografía de la torre solar PS10. 24
Figura VIII.8 Parque Eólico Eurus en Oaxaca....25
Figura VIII.9 Generación de energía eólica a horas y diferentes dias en California 26
Figura VIII.10 Fotografía de la planta geotérmica del proyecto Soultz. 27
Figura VIII.11 Central Hidroeléctrica Tuxpango, Veracruz 28
Figura VIII.12 Reactor Nuclear....29
Figura VIII.13 Simulación para la Captura y Secuestro de CO_2 30
Figura VIII.14 Comparación de la capacidad: línea base *vs* estrategia sustentable en 2024 33
Figura VIII.15 Comparación de la generación: línea base *vs* estrategia de bajo carbono en 2024 34
Figura VIII.16 Comparación de emisiones de CO_2 en 2024 (miles de toneladas de CO_2) 35
Figura VIII.17 .Trubina de gas GE Energy Frame 7FA....38
Figura VIII.18 Caldera de vapor. 39
Figura VIII.19 Quemador de combustión mejorada con oxígeno. 41
Figura VIII.20 Sellos secos en compresores 42
Figura VIII.21 Aislamiento con lana mineral 43
Figura VIII.22 Cambiador de calor de alta eficiencia “Packinox” en la Refinería Miguel Hidalgo....44
Figura VIII.23 Zonas de potencial productivo de los cultivos para la producción de biocombustibles....47

TABLAS

Tabla VIII.1 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules) .14
Tabla VIII.2 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules) .14
Tabla VIII.3 Factores de planta, emisión y consumo energético 31
Tabla VIII.4 Línea base programada para el sistema nacional.....32
Tabla VIII.5 Estrategia de baja intensidad de carbono para el sistema nacional 32
Tabla VIII.6 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules) .46

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

BNE	Balance Nacional de Energía
BRT	Carril confinado de transito rápido de autobuses (Bus rapid transit)
CAFE	Promedio corporativo de rendimiento de combustible (*Corporative Average Fuel Economy*)
CANIRAC	Cámara Nacional de la Industria de Restaurantes y Alimentos Condimentados
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
CPG	Complejo Procesador de Gas
ENTE	Energía, Tecnología y Educación
EUA	Estados Unidos de América
FIDE	Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica
GEI	Gases de efecto invernadero
ICCT	Consejo internacional de transporte limpio (International Council for Clean Transportation)
IETU	Impuesto Empresarial de Tasa Única
IMO	Organización Internacional Marítima
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de Vivienda
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
km/l	Kilómetros por litro
LDT	Camión ligero de carga *Light duty truck*
LTO	Ciclo de despegue y aterrizaje *Landing Take Off*
MARPOL	Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques *International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships*
MW	MegaWatt
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
Pemex	Petróleo Mexicanos
PEP	Pemex Exploración y Producción
PGPB	Pemex Gas y Petroquímica Básica
PIB	Producto Interno Bruto
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
SCFM	Pies cúbicos estándar por minuto
SCT	Secretaría de comunicaciones y transportes
SENER	Secretaria de energía

SEP	Secretaría de Educación Pública
SIT	Sistemas integrados de transporte
SUV	Vehículo utilitario de uso múltiple
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas

VIII Estrategias de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para México

En los capítulos anteriores se ha presenta una evaluación a nivel internacional del estado del arte de las tecnologías para mitigar el cambio climático así como un análisis de los instrumentos que se están utilizando en el mundo, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha realizado asimismo una valorización de la relevancia, pertinencia y aplicabilidad de las diferentes tecnologías y estrategias para México.

Con base en esta valoración y en el análisis de la Estrategia Nacional de Energía (ENE), del programa Especial de Cambio Climático (PECC) y del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), se presenta en este capítulo una propuesta de estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero que, en el ámbito de la energía, se consideran las más relevantes y convenientes para el país.

Se han seleccionado las estrategias que, a la luz de la información disponible pueden tener un mayor impacto en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, que son viables desde el punto de vista técnico y que en el largo plazo son costo-efectivas para el país.

Para transformar le economía nacional y hacerla sustentable y de baja intensidad de carbono, como se establece en la ENE y en el PECC, no basta con la voluntad política, es necesario tomar acciones concretas en muchos frentes, entre otras:

- Crear estímulos económicos para promover, la eficiencia energética y la utilización de las energías limpias y eliminar incentivos al dispendio.
- Emitir normas para eliminar los equipos, sistemas y tecnologías ineficientes.
- Modernizar las instalaciones de las empresas energéticas estatales para optimizar su desempeño energético y eliminar fugas.
- Utilizar los recursos internacionales disponibles para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Identificar proyectos específicos de reducción de emisiones y realizarlos.

Entre la gran cantidad de alternativas que se han propuesto y se están realizando o planeando para este fin, se han seleccionado cinco estrategias generales que son las de mayor importancia por el impacto que tendrán en las emisiones y por el efecto transformador que tendrán en la economía nacional.

Para llevar a México a una economía bajo carbono es indispensable:

E1: Eliminar subsidios a la energía

E2: Aumentar la eficiencia energética en el consumo final, particularmente en el transporte

E3: Incrementar la generación limpia de electricidad

E4: Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero de la Industria Petrolera

E5: Desarrollar y utilizar en forma sustentable los bioenergéticos

De implementar los proyectos asociados a estas estrategias, que se detallan a continuación, se logrará reducir las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a una línea base tendencial del orden de 120 millones de toneladas anuales de CO_2 equivalente, hacia el año 2030.

Adicionalmente existen áreas de oportunidad en las que se debe trabajar por su importancia en el largo plazo y su gran efecto potencial de reducción de emisiones. Una es el desarrollo de **normatividad para incrementar la eficiencia energética en las edificaciones** la otra es la **captura geológica de bióxido de carbono con recuperación mejorada de petróleo.**

En virtud de que la vida útil de los edificios es larga, es importante que las nuevas construcciones se hagan con los diseños, los materiales y la tecnología más eficiente para evitar emisiones durante largos periodos de tiempo. A medida que el ingreso per cápita aumenta, el consumo de energía en las viviendas se incrementa al tener acceso la población a sistemas y equipos que incrementan el confort y el bienestar pero también el consumo de electricidad. Este desarrollo debe darse con los equipos más eficientes disponibles en el mercado.

Para que al mejorar el nivel de vida de los mexicanos no se dispare el consumo de energía, es necesario que el crecimiento se logre aprovechando los avances existentes en eficiencia energética tanto en el diseño de las construcciones como de los equipos que se utilizan en ellas (ver capítulo IV). Aunque los beneficios de las normas que se emitan para este fin se darán en el largo plazo, es importante iniciar el proceso.

El secuestro y captura geológica de CO_2 se ha planteado como una estrategia para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Es factible técnicamente y aunque aún es muy costosa, se está trabajando en todo el mundo (ver capítulo III) para optimizarla y hacerla más barata. Una forma de hacerla rentable es utilizando el CO_2 para incrementar la recuperación de petróleo. En México existen oportunidades concretas para implementar esta práctica e incluso ya se tiene experiencia en su utilización. Es conveniente desarrollar proyectos demostrativos de captura de CO_2 con recuperación mejorada de petróleo, para conocer las tecnologías y desarrollar la capacidad en esta área que muy probablemente será una de las estrategias futuras para enfrentar el cambio climático.

VIII.1 Eliminación de subsidios a la energía

Uno de los objetivos establecidos en la Estrategia Nacional de Energía es el de "Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía". Avanzar en el logro de este objetivo es fundamental para poner a México en la ruta de una economía sustentable de baja intensidad de carbono.

Existen hoy en día equipos y tecnologías que permiten aprovechar mucho mejor la energía que antes en todos los ámbitos de la actividad humana; vehículos, focos, electrodomésticos, motores, etc. Su utilización debe promoverse por todas las vías posibles incluyendo la normatividad y los instrumentos económicos como estímulos fiscales y eliminación de subsidios.

Actualmente en México los subsidios a la energía representan montos significativos que desincentivan su uso eficiente. El consumo final de energía ha crecido en México impulsado principalmente por el sector transporte.

A nivel mundial el subsidio a los energéticos ha sido una práctica generalizada. En los países en desarrollo los subsidios se han utilizado mayoritariamente para apoyar a los consumidores y en los países desarrollados los subsidios actualmente se dan en forma de subvenciones a la producción y a la investigación y desarrollo. Ante un escenario en el que el cambio climático requiere de reducir las emisiones derivadas de los combustibles fósiles, es necesario reevaluar los efectos de los subsidios a la energía.

En términos generales, los subsidios tienen el impacto de aumentar el consumo de los combustibles, la electricidad y el agua porque los consumidores no incurren en el costo total de estos bienes. Ante un menor precio la demanda aumenta. Sin embargo, se considera que este consumo no es "óptimo" pues conlleva un costo social tanto para el gobierno como para el productor y/o consumidor según el tipo de subsidio. Así, cuando se interfiere en los mercados se crea una distorsión que no permite a los consumidores valorar la verdadera escasez de un bien y/o el costo de tenerlo en los mercados.

Por ejemplo, en el caso de los subsidios al agua en México, los consumidores en las zonas urbanas no pagan el costo total de bombear el agua a la ciudad. El subsidio a las tarifas eléctricas incrementa el consumo y no incentiva que la gente ahorre energía. Particularmente en los sectores de mayor ingreso de la sociedad, en los que el costo de energía eléctrica o del agua constituye una pequeña proporción de su ingreso, los subsidios representan una pérdida para la economía y un desperdicio de recursos. Los subsidios a la gasolina y a otros combustibles automotrices como el diesel conllevan un mayor uso del automóvil. Todas estas actividades aumentan las emisiones de GEI y de otros gases contaminantes. Estos costos externos tampoco son considerados e incrementan el impacto negativo de los subsidios a la energía.

El subsidio a la energía fósil a nivel mundial se encuentra en el orden de 200 billones de dólares. Estudios recientes de la Agencia Internacional de Energía muestran que en si los subsidios de los países desarrollados se eliminaran podría alcanzarse del orden de 6% en la reducción de emisiones globales de CO_2 y que al

mismo tiempo se lograría un crecimiento del PIB de alrededor de 0.1%. Diversos estudios han encontrado también que proporcionalmente, se subsidia en mucho menor escala las energías limpias. Evidentemente, se pueden obtener ganancias al reestructurar el esquema fiscal con criterios ambientales. Así, mientras los subsidios a la energía fósil conllevan impactos económicos y ambientales, el apoyo a las energías limpias puede ser fundamental para el crecimiento del mercado de gran escala.

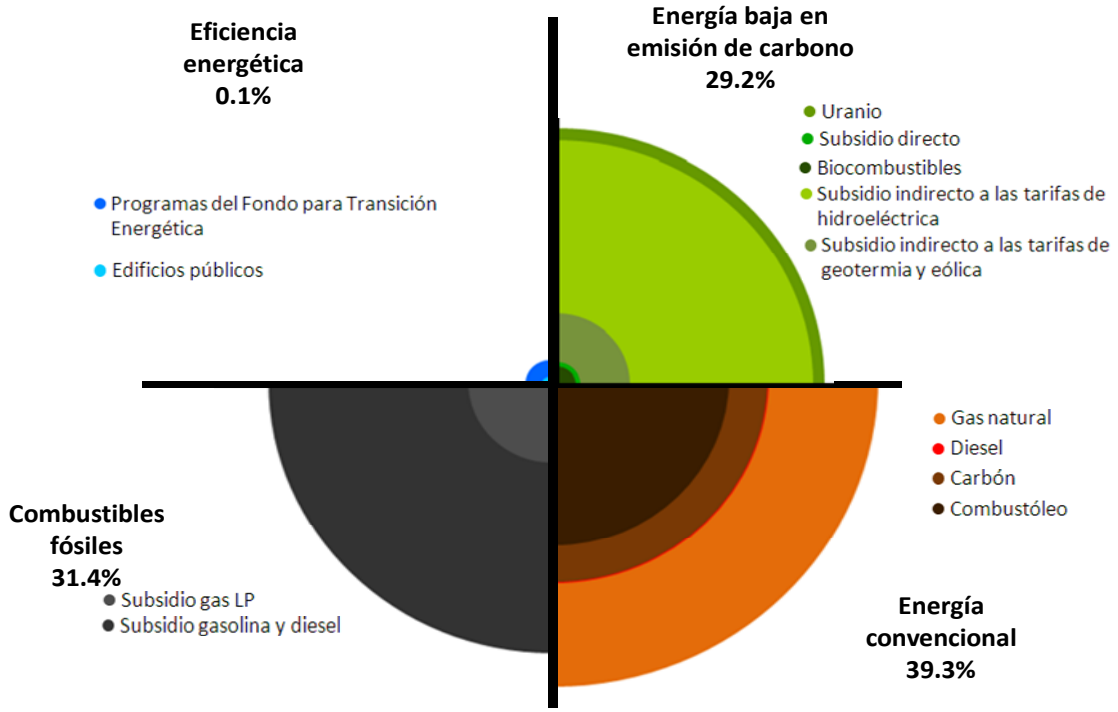
El monto destinado al financiamiento de la energía limpia debe ser suficiente de tal suerte que logre romper las barreras de mercado, y puede considerar entre otras cosas, las externalidades pre-existentes de las fuentes fósiles y los costos de inversión iniciales de las distintas tecnologías. La Figura VIII.1 muestra los subsidios actuales en el país para las energías convencionales en comparación con los recursos destinados a la promoción de la energía renovable y los programas de eficiencia energética en México. De acuerdo con la SHCP el monto de los subsidios a los energéticos durante el periodo 2005-2009 ascendió a 200.4 miles de millones de pesos[1] como promedio anual. Los programas de fomento a la energía renovable y de eficiencia energética que se incluyen en la Estrategia Nacional de Energía representan un monto anual de 4.3 miles de millones.

Es muy importante considerar los distintos efectos de la eliminación de subsidios en los diferentes sectores de la economía, así como, las diferencias entre los efectos de corto y largo plazo. Por ejemplo, en algunos sectores si se elimina el apoyo a la energía proveniente de los combustibles fósiles, puede haber excedentes (pérdidas) para los productores. Los sectores de bajo ingreso resentirán en mayor medida la eliminación de subsidios, pues el monto de su ingreso destinado al consumo de energéticos es mayor. Asimismo, la estrategia de incentivos a la energía limpia debe ser diseñada cuidadosamente considerando plazos específicos, la demanda requerida, y brindando transparencia sobre montos y mecanismos, de tal suerte que permita al gobierno finanzas públicas sanas y dar certidumbre a los inversionistas en estas tecnologías.

Evidentemente, es necesario que la eliminación de subsidios este sustentada en estudios cuidadosos realizados con información confiable sobre el monto real de los subsidios y el impacto que la eliminación tendría en la economía considerando los aspectos distributivos. Los países de la OECD han hecho un pronunciamiento público en el que se identifica la remoción de subsidios a los combustibles fósiles como una de las principales estrategias para combatir el cambio climático. La acción coordinada de las principales economías es muy importante a fin de evitar pérdidas de competitividad. Eliminar los subsidios es el primer paso para dar las señales de mercado claras sobre el verdadero costo de la energía y su impacto ambiental.

[1] Pesos del 2009

Figura VIII.1 .Subsidios a la energía: transicion necesaria a la promocion de energías verdes



a) Los subsidios a la electricidad se estimaron con información de la Secretaría de Energía y con el Balance de Energía Eléctrica para el año 2008, estimado por la Comisión Federal de Electricidad. Cabe mencionar que los subsidios a la energía eléctrica no discriminan tecnologías pues la electricidad entra a la red y es distribuida sin que el consumidor final tenga conocimiento sobre la contaminación que su consumo de electricidad genera. En la gráfica se considera como un subsidio indirecto el monto del subsidio total distribuido por tecnología en base al total de la generación bruta que se alimenta a la red, considerando información de CFE y la Secretaría de Energía.
b) Los incentivos directos a las energías renovables consideran los programas específicos planteados en la Estrategia Nacional de Energía para promover proyectos piloto de energía solar en edificios públicos y biocombustibles. Los subsidios indirectos se refieren a la parte proporcional del subsidio a la electricidad correspondiente a la generación a través de energía hidráulica, eólica, geotermia, y nuclear. Se desglosa por separado la energía hidráulica, toda vez que incluye la generación de las grandes centrales hidroeléctricas y la energía nuclear por ser de baja emisión de carbono.
c) Los incentivos a la eficiencia energética incluyen los montos destinados a los programas apoyados por el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y las acciones que pueden ser consideradas subsidios directos en la Estrategia Nacional de Energía.

Fuente: CMM (2010), con base en información de al SENER, SHCP y CFE.

Los subsidios a la electricidad y a las gasolinas y el diesel proporcionan su uso dispendioso y frenan la introducción de equipos y tecnologías eficientes, su gradual eliminación es un prerrequisito para la necesaria transformación de la economía nacional.

El subsidio al agua también conlleva un impacto sobre el consumo de energía que es muy cuantioso en el caso de algunas ciudades y sistemas de riego. El uso racional del agua inducido por precios de está que reflejan el costo de la energía tendrá un efecto positivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

VIII.2 Incrementar la eficiencia del consumo final de energía

Un objetivo central de la Estrategia Nacional de Energía es el incrementar la eficiencia en el consumo de energía. De acuerdo a la experiencia internacional para inducir en la economía una transformación que incremente la eficiencia energética es necesario utilizar todos los instrumentos disponibles para el estado. Además de la eliminación de subsidios y el establecimiento de incentivos para la modernización de los equipos que consumen energía es conveniente emitir normas que obliguen a los fabricantes a comercializar equipos con la máxima eficiencia energética.

El PRONASE establece el objetivo de emitir normas modernas para iluminación eficiente, para refrigeradores, para equipos de aire acondicionado y para motores. Estas normas inducirán el menor consumo de electricidad en todos los sectores de la economía. Se deben emitir cuanto antes y se deben actualizar permanentemente para incorporar los importantes avances tecnológicos que se están dando en este ámbito.

Plantea también el PRONASE la publicación de normas para el transporte. De todas las acciones en ese programa las que más impacto tendrán en la eficiencia del consumo final de energía son las que se refieren a los vehículos, su tecnología y su utilización.

A continuación se propone una estrategia para inducir este cambio en el parque vehicular nacional y en su utilización, esta es una estrategia indispensable y urgente para poner a México en la ruta de una economía sustentable de baja intensidad de carbono.

VIII.2.1 Estrategias para mejorar la eficiencia energética en el Transporte

El Sector Transporte es el más dinámico de la economía nacional y es el sector donde se esperan los cambios tecnológicos más inmediatos para disminuir la intensidad de carbono del país. Durante el año 2008, el 48% del consumo final total de energía en el país correspondió al uso de combustibles y electricidad para mover personas y carga. En la última década, este sector ha crecido a una tasa anual de 4.7%, crecimiento que es superior al de la economía en su conjunto y al mismo crecimiento poblacional.

En la Figura VIII.2 se muestra el comportamiento durante el periodo 1998-2008 del consumo de energía desagregado por modo de transporte. El movimiento de personas y mercancías mediante vehículos automotores implica el 92% del consumo energético en este sector, pero son los automóviles particulares los que concentran la demanda y presentan un crecimiento atípico al resto de las actividades productivas y de servicio en el país. Con una tasa de crecimiento del 7.3% anual, los automóviles de uso particular están afectando significativamente el Balance Nacional de Energía (BNE), provocando la importación de gasolinas y el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero.

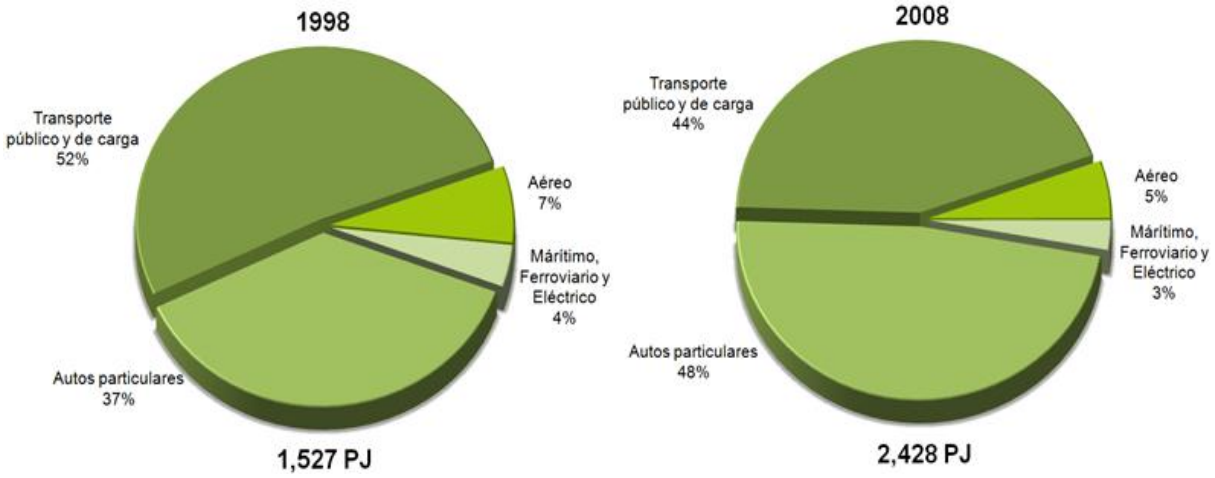
Folio No. 0013

Tabla VIII.1 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules)

Sub-sector	1998	2008	Crecimiento promedio anual
Autotransporte	1,358	2,229	5.1%
Aéreo	109	131	1.8%
Marítimo, Ferroviario y Eléctrico	60	68	1.2%
Total	**1,527**	**2,428**	**4.7%**

Fuente: CMM con datos de: (Secretaría de Energía, 2009)

Figura VIII.2 Estructura de consumo del sector transporte 1998-2008 (Petajoules)



Fuente: CMM con datos de: (Secretaría de Energía, 2009)

Tabla VIII.2 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules)

Sub-sector	1998	2008	Crecimiento promedio anual
Autos particulares	571	1,159	7.3%
Transporte público y de carga	787	1,070	3.1%
Total	**1,358**	**2,229**	**5.1%**

Fuente: Modelo de emisiones vehiculares CMM 2010

El notable crecimiento en el consumo de gasolinas en la última década obedece a varios factores, a saber, un aumento importante en el número de vehículos en

circulación derivado de mayores ventas de vehículos nuevos, el ingreso al país de millones de vehículos usados provenientes de los Estados Unidos y la proliferación de patrones de desarrollo urbano, en todo el país, que ocasionan el uso intensivo de los autos privados y propician que estos vehículos recorran un alto número de kilómetros anuales.

El parque vehicular en México ha pasado de 10.7 millones en 1998 a 23.3 millones[2] en 2008. La concentración poblacional en zonas urbanas, el incremento en el ingreso disponible de las personas, la oferta de vehículos a precios más accesibles, la disponibilidad de crédito a tasas atractivas y la ausencia generalizada de políticas efectivas de introducción y desarrollo de buenos sistemas de transporte público en las ciudades del país, explican la mayor parte del crecimiento del parque vehicular en el país.

En términos generales los vehículos nuevos son más eficientes energéticamente que los más antiguos de la misma categoría, pero en la última década esto no se ha traducido en un menor consumo de energía para México por dos razones principales, por un lado, el sector de vehículos nuevos que más ha crecido es el de los vehículos multiusos (SUV's y mini VAN's, modelos que alcanzaron un 8.7% de crecimiento anual en sus ventas) y por otro, los vehículos usados importados de los cuales han ingresado más de 4 millones desde 2005 y son en general muy viejos e ineficientes. En estos dos frentes hay una gran oportunidad para mejorar la eficiencia energética en el sector.

El reconocimiento de esta circunstancia en el PECC y el PRONASE, hace que para las próximas décadas, el mejoramiento de la eficiencia energética de la flota vehicular sea la acción más efectiva para impulsar a México en la senda hacia una economía de bajo carbono.

El transporte aéreo ha crecido en la presente década a un ritmo superior al poblacional pero inferior al PIB. Su demanda ha sido estimulada por la reducción en los precios relativos promedio, lo cual se ha logrado con la entrada de aerolíneas llamadas de bajo costo. Sin embargo, este modo de transporte es altamente emisor de gases de efecto invernadero y no se constituye, por lo pronto, como una alternativa para disminuir la intensidad energética por persona o tonelada de carga transportada.

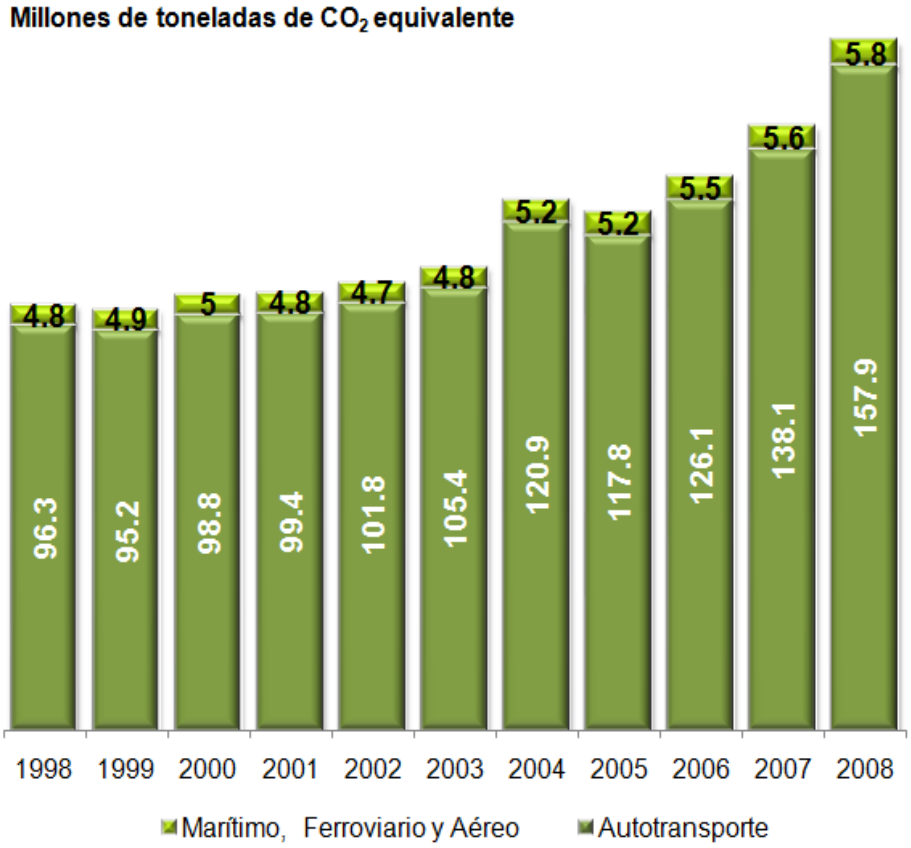
En contraste con el autotransporte y la aviación, el transporte ferroviario se ha estancado y restringido marginalmente al movimiento de carga. Por ser el modo de transporte más eficiente energéticamente, el incremento de la infraestructura ferroviaria y su interconexión modal en puertos marítimos y carreteras coadyuvaría significativamente a mejorar la eficiencia energética del sector.

En conjunto, el consumo del transporte marítimo, ferroviario y eléctrico crecen al ritmo que crece la población, o a uno menor, y entre los tres no alcanzan a consumir más del 3% del total de energía del sector.

[2] Modelo de emisiones vehiculares. CMM 2010

De acuerdo con el consumo de combustible histórico reportado para cada uno de los subsectores que integran el sector transporte, se estima que las emisiones de CO_2 equivalentes generadas durante el período de 1998-2008 aumentaron en un 60%, pasando de 101.1 millones de toneladas a 163.7 millones ver Figura VIII.3.

Figura VIII.3 Emisiones históricas anuales de CO_2



Fuente: CMM 2010

En virtud de su alta participación en la emisión de gases de efecto invernadero (21% del total según el INEGEI) y sobre todo de su alta tasa de crecimiento, el sector transporte sin duda requiere especial atención en una estrategia nacional para transitar a una economía de bajo carbono. De las muchas e que se han planteado para mejorar su desempeño ambiental la estrategia más efectiva es la emisión e implementación de una norma para aumentar la eficiencia energética de los vehículos ligeros.

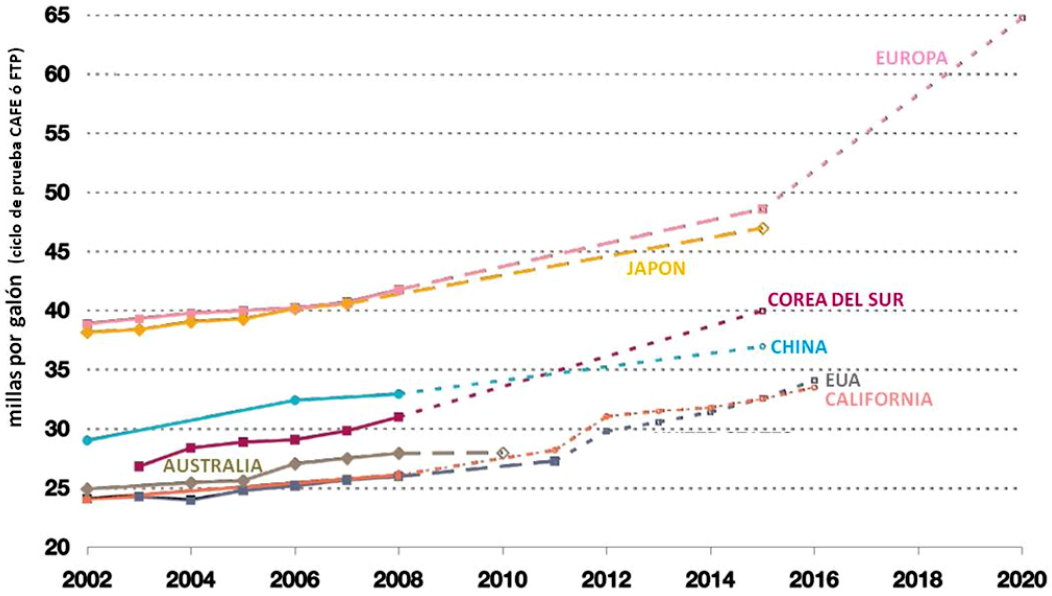
VIII.2.1.1 Aplicación de una norma de eficiencia energética para vehículos ligeros

El Programa Especial de Cambio Climático y el Programa Nacional de Aprovechamiento Sustentable de Energía incluyen dentro de sus acciones a cumplir en este año 2010, la expedición de una nueva norma de emisión de gases de efecto invernadero y de rendimiento de combustible para autos nuevos.

Las normas de eficiencia energética en el sector transporte están evolucionando muy rápidamente a nivel global y tienen una vinculación directa con la regulación de gases de efecto invernadero, a raíz del establecimiento de un compromiso obligatorio de reducción de emisiones establecido en el Protocolo de Kyoto para los países industrializados, derivado del Acuerdo Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

En la Figura VIII.4 se observa que los mayores rendimientos y las normas más estrictas o avanzadas las poseen la Unión Europea y Japón, mientras que los Estados Unidos de América (EUA) está muy por debajo del desempeño energético de los países industrializados, debido principalmente a que su mercado está dominado por vehículos pesados y de alta potencia. En Europa y Japón, por el contrario, prevalecen los vehículos pequeños, ligeros y que emplean diesel como combustible.

Figura VIII.4 Eficiencia energética actual promedio de las flotas vehiculares del 2008 y metas regulatorias por región o país (millas por galón de acuerdo al ciclo CAFE*)

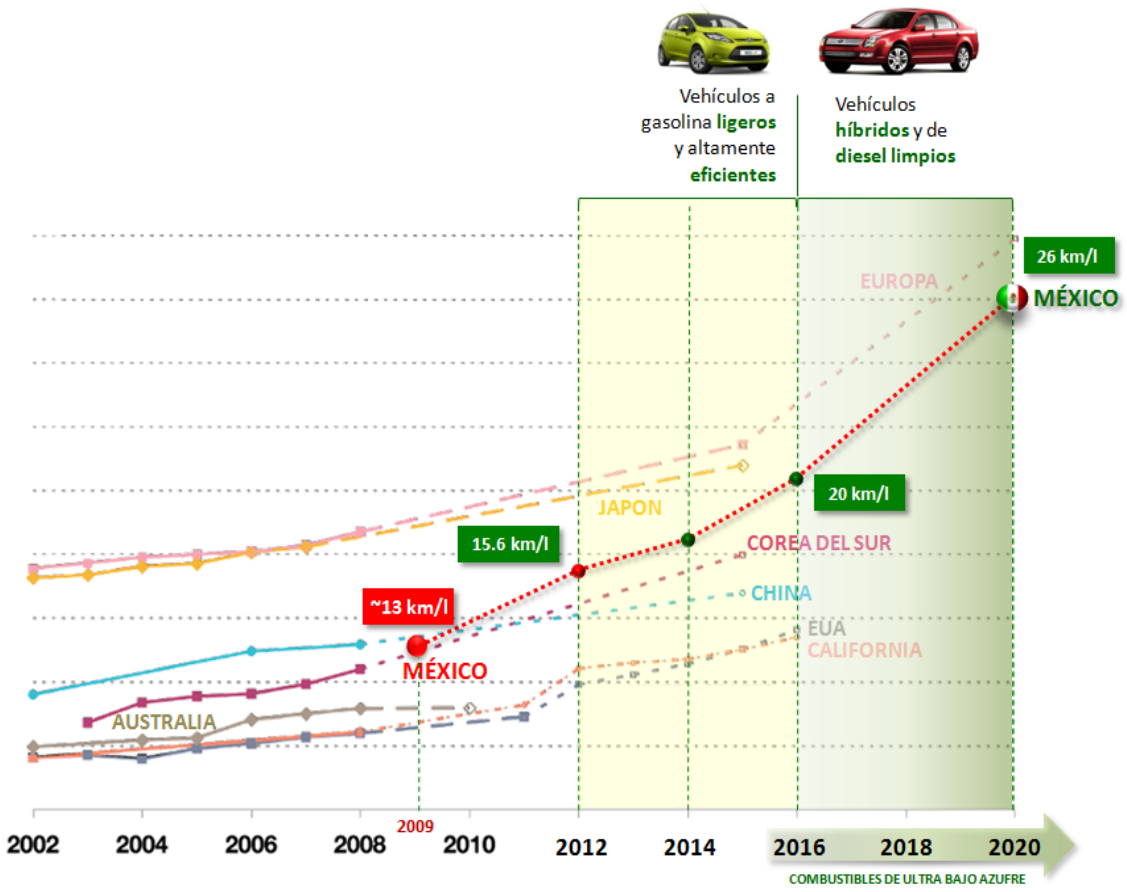


FUENTE: International Council for Clean Transportation ICCT, 2009

*CAFE. Corporate Average Fuel Economy (norma de EUA)

Proponemos establecer una norma de eficiencia energética para vehículos ligeros nuevos en México incluidos los camiones ligeros (SUV's y LDT), con el objetivo de mejorar el rendimiento combinado promedio de la flota vehicular nueva, pasando de 13 a 20 kilómetros por litro (km/l) en 2016 y alcanzando un rendimiento de 26 km/l en 2020. En términos de emisiones de CO_2, el objetivo es pasar de 186 gramos de CO_2 por kilómetro a 117 en 2016 y 98 gramos de CO_2 en 2020 ver Figura VIII.5.

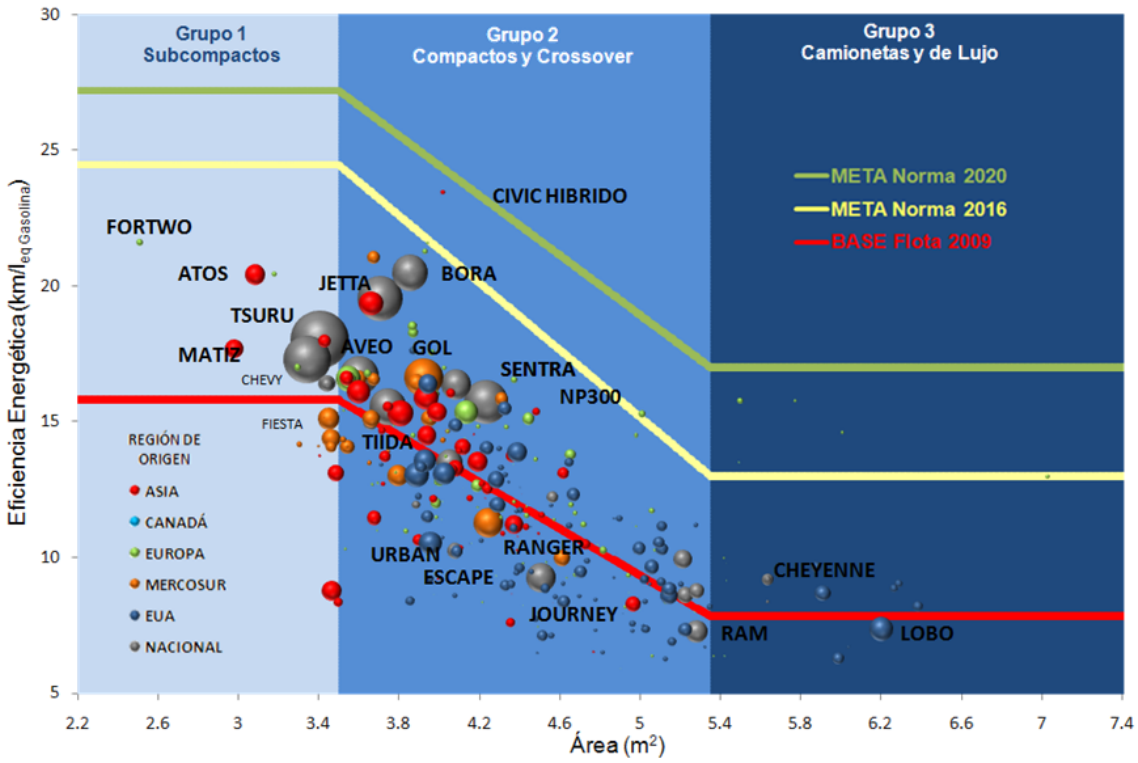
Figura VIII.5 Propuesta normativa en el contexto internacional y en millas por galón estandarizado a ciclo CAFE



Fuente: CMM 2010

En la Figura VIII.6 se ilustran la situación actual del rendimiento vehicular por modelo de los vehículos vendidos en México y la meta propuestas en km/l, estableciéndose tres grupos a regular, de acuerdo con el valor límite fijado y la forma de la curva propuesta.

Figura VIII.6 Eficiencia energética vehículos nuevos vendidos en México año 2009 y valores de la propuesta normativa del Centro Mario Molina



Para lograr estos objetivos se requiere la introducción de las siguientes medidas:

- Mejoramiento de los motores convencionales de combustión interna, con lo cual se pueden lograr reducciones de hasta 30%.
- Reducción de una tercera parte del peso de los vehículos a través de una nueva arquitectura automotriz, el redimensionamiento de diversos componentes y el empleo de materiales más ligeros, disminuyendo en 10% el consumo de combustible.
- Uso de sistemas híbridos en vehículos ligeros a gasolina en el presente y de diesel en menos de una década, con posibilidades de lograr reducciones de hasta el 50%.
- Mejoramiento en los sistemas de transmisión, con ahorros de hasta el 8%.
- Introducción de diseños aerodinámicos, llantas y elementos rotativos que al disminuir la resistencia al aire y rodamiento alcanzarían reducciones cercanas al 10% en el uso de energía.
- Incremento de la participación en la flota nueva de vehículos ligeros a diesel.

Es importante considerar que para alcanzar las distribuciones de tecnología aquí propuestas, es conveniente establecer un programa de incentivos fiscales o financieros que permitan incentivar las ventas de los vehículos eficientes. Esto

debido a que el costo incremental que representa la introducción de las tecnologías limpias y de innovación, representa un obstáculo para el crecimiento de ese mercado.

Paralelamente, para la introducción de las tecnologías de alto rendimiento y bajas emisiones, es indispensable la disponibilidad de combustibles de ultra bajo azufre, pues la mayoría de los vehículos ligeros a diesel disponibles en el mercado internacional lo requieren para su correcto funcionamiento.

La expedición oportuna de la norma de eficiencia es muy importante, pues a partir del 2011 el gobierno de los Estados Unidos de América aplicará su nueva regulación al respecto y es altamente probable que se desplacen a nuestro mercado vehículos de baja eficiencia energética que ya no podrán comercializarse en territorio estadounidense.

Con la aplicación de esta norma se estima que hacia el año 2030 se reducirán las emisiones de GEI en 39 millones de toneladas anuales de CO_2e.

Otra estrategia para alcanzar un desarrollo energético sustentable es la promoción de un mayor uso del transporte público mediante la construcción de sistemas eficientes y rápidos de camiones en carriles confinados.

VIII.2.1.2 Cambio modal de transporte de pasajeros

Cambio modal de vehículos particulares hacia sistemas integrados de transporte, impulsado por la construcción y operación de corredores de transporte en carriles confinados denominados por sus siglas en inglés BRT (*Bus Rapid Transit*). La selección de ciudades factibles de operar estos sistemas se definió tomando en cuenta aquellas que en el 2030 tendrán una población mayor a 750 mil habitantes, por lo que considera la implantación de un sistema de este tipo

En cuanto al número de corredores y autobuses articulados necesarios por BRT se estimó que por cada 100 habitantes se tendrá una demanda de viajes en este modo de transporte de 21 pasajeros/día, siendo la capacidad máxima de cada corredor de 230 mil pasajeros/día con una longitud promedio de 21 km[3]. Se asume que los BRT operarán con autobuses de alta capacidad y bajas emisiones vehiculares, utilizando tecnologías y combustibles ambientalmente limpios, tales como diesel ultra bajo azufre, gas natural, biocombustibles y/o sistemas motrices híbridos. Asimismo, se considera que los vehículos desplazados, principalmente microbuses, serán eliminados y no enviados a otra ruta.

La implantación de este tipo de proyectos requiere el desarrollo de programas integrales que involucren no solo la parte de reordenamiento y mejoramiento del transporte público, sino también de desarrollo urbano, a fin de potencializar los beneficios que la población obtendrá por la preferencia hacia el uso de este transporte al privado, impulsando con ello el cambio modal. Esto implica la

[3] Movilidad y calidad de vida: 6 estrategias para la ZMVM. Noviembre 2006.

construcción de líneas troncales en rutas estratégicas que cuenten con conexiones a otros sistemas modales a alimentadores que faciliten a los pasajeros trasladarse desde cualquier punto de la ciudad, incluso de la periferia hacia las zonas centrales.

Con la aplicación de esta norma se estima que hacia el año 2030 se reducirán las emisiones de GEI en 10 millones de toneladas anuales de CO_2e.

Finalmente el transporte vehicular de carga requiere modernizarse para ser más limpio y eficiente.

VIII.2.1.3 Renovación del parque vehicular de carga

Incentivar la renovación acelerada del parque vehicular tanto de carga como de pasajeros a gasolina y diesel, mediante la aplicación de incentivos económicos como los otorgados por el Programa de Beneficios Fiscales (Chatarrización) promovido por el Gobierno Federal para sustituir vehículos pesados obsoletos y sin tecnologías de control de contaminantes por unidades nuevas o seminuevos que operen más eficientemente.

La evaluación de esta medida considera la sustitución de unidades uno a uno, con un parque vehicular potencial de renovación de cerca de 300 mil vehículos con más de 25 años de antigüedad. De acuerdo a cifras de la SCT, desde mayo de 2004 a mayo de 2010 se han destruido un total de 12,500 unidades.

Sin embargo, debido que el precio al que se toman las unidades a “chatarrizar” como “enganche” es bajo, ya que solo se considera el valor en el mercado de la unidad por su año-modelo sin importar las condiciones mecánicas del motor, que en muchas ocasiones es de modelo reciente o bien, ha sido repotenciado, la renovación no se ha llevado a cabo al ritmo planeado.

Por otro lado, la falta incentivos fiscales que permitan una depreciación acelerada de la unidad, aunado al pago del Impuesto Empresarial de Tasa Única (IETU) han desincentivado el programa. Con la apertura en 2009 de la frontera norte como parte de los acuerdos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) durante 2009 entraron 3,600 unidades usadas de Estados Unidos que equivalen al 15% de las unidades nuevas vendidas durante 2009.

En agosto de 2009 el gobierno federal comenzó el programa de renovación vehicular para vehículos ligeros, al mes de marzo de 2010 se han destruido 12,800 unidades con una edad promedio de 24 años de antigüedad.

Para esta categoría de vehículos ligeros, la medida considera la salida de circulación, a través de su chatarrización, de vehículos a gasolina carburados, los cuales se estiman en 22% del parque vehicular total de 2009.

Con la aplicación de esta norma se estima que hacia el año 2030 se reducirán las emisiones de GEI en 1 millón de toneladas anuales de CO_2e.

Folio No. 0021

VIII.3 Generación Limpia de Electricidad

La Estrategia Nacional de Energía establece como uno de sus objetivos fundamentales el "Diversificar las fuentes de energía, incrementando la participación de tecnologías limpias".

Este objetivo contribuye simultáneamente a incrementar la seguridad energética del país y a redireccionar el desarrollo por la ruta de una economía sustentable de baja intensidad de carbono.

La matriz energética del país está muy concentrada en fuentes energéticas de origen fósil por razones de disponibilidad de recursos y de eficiencia económica, diversificarla es sin duda conveniente e incluso necesario si se quieren alcanzar las metas de mitigación que se han planteado en el PRONASE y en el PECC.

La mayoría de los países se están moviendo en la misma dirección por razones estratégicas y ante la vigencia de enfrentar el cambio climático. Elemento fundamental de esta diversificación es la Generación Limpia de Electricidad.

La producción de electricidad en México contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero en virtud de que actualmente se realiza principalmente a partir de combustibles fósiles.

Como se mostró en el capítulo VII existen tecnologías disponibles y maduras para aprovechar la mayor parte de las energías renovables y limpias en el Mundo. Por otra parte México cuenta con abundante disponibilidad de algunos de estos recursos como la energía eólica, la geotérmica, la hidráulica y la solar.

Transformar la estructura de producción de electricidad en México para disminuir significativamente su intensidad de carbón es posible aunque esto conlleva un gran esfuerzo e inversiones cuantiosas cuyo financiamiento deberá ser apoyado por recursos internacionales.

A continuación se presenta una estrategia ambiciosa pero factible para lograr esta transformación.

VIII.3.1 Estrategia de generación eléctrica de baja intensidad de carbono

De acuerdo con el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012, los procesos de generación de energía eléctrica y uso de la energía constituyen el principal emisor de gases de efecto invernadero, con el 60.1% de las emisiones totales, que en 2006 se ubicaron en 715.3 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente.

En particular, en los procesos de generación de energía eléctrica, en 2006 se emitieron 112.5 millones de toneladas de bióxido de carbono, lo que representa casi 16% del total nacional. Esto como resultado principalmente de la composición del parque de generación en México, en la que los combustibles fósiles aportan más de 75% de la generación de electricidad para servicio público.

Folio No. 0022

VIII.3.2 Acciones para Reducir Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Para reducir las emisiones del Sistema Eléctrico Nacional, en dicho Programa se establecen acciones de eficiencia energética, uso de fuentes renovables de energía, captura y almacenamiento geológico de carbono, así como mayor uso de la energía nuclear. Entre otras acciones se señalan las siguientes:

- Fomentar la generación de electricidad con tecnologías bajas en carbono en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN);
- Desarrollar proyectos de eficiencia energética que reduzcan emisiones de GEI en el SEN;
- Reducir las fugas de hexafluoruro de azufre (SF6) en el sistema de transmisión y distribución del SEN;
- Incrementar la generación de electricidad con fuentes de energía eólica, geotérmica, hidráulica y solar, que sean técnica, económica, ambiental y socialmente viables;
- Fomentar la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía y en la cogeneración y
- Fortalecer las capacidades nacionales para la eventual aplicación de tecnologías de captura y almacenamiento geológico del CO_2 generado por la industria energética del país.

Para elaborar esta estrategia de baja intensidad de carbono se consideró lo siguiente:

a) La información de prospectiva contenida en el POISE 2010 – 2024.
b) La opinión de los titulares responsables del desarrollo de las diversas tecnologías en la Comisión Federal de Electricidad.
c) El tiempo de maduración que tienen los proyectos considerando las particularidades de cada tecnología.
d) Los tiempos de construcción que requieren los proyectos de cada tecnología.

En adición a las alternativas de energía limpias contenidas en el POISE, se incorporan en esta estrategia las siguientes alternativas:

- Ciclo Combinado a gas natural + Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)
- Lecho Fluidizado + CCS
- Solar Fotovoltaica
- Solar térmica
- Relleno Sanitario

Folio No. 0023

- Excretas de Ganado
- Eficiencia Energética en Generación
- Eficiencia Energética en Transformación y Distribución

VIII.3.2.1 Energía Solar

México posee una localización ideal para el aprovechamiento de la energía solar, tiene una de las insolaciones más altas a nivel mundial, con una densidad energética promedio de 5.2 kWh/m^2 por día para las regiones de mayor densidad como en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Chihuahua y más del 70% de la superficie del país recibe una densidad superior a 4.7 kWh/m^2 por día. Como comparación en Alemania la densidad es de 2.9 kWh/m^2 por día y generan el 12% de sus necesidades con energía solar. Lo anterior ofrece un gran potencial para la instalación de capacidad solar al largo plazo de varios miles de MW y como consecuencia el abatimiento de emisiones de varios miles de ton de CO_2.

Figura VIII.7 Fotografía de la torre solar PS10.

Fuente: (Solar Thermal, 2010)

En la estrategia se han utilizado de manera conservadora factores de planta de 20%, para la tecnología térmica solar y 10% para la tecnología fotovoltaica, cuando hay quien sostiene que el factor de planta para la térmica solar puede alcanzar un

valor tan alto como 73% cuando se combina con técnicas de almacenamiento y un 19 % para las celdas fotovoltaicas modernas.

En la estrategia de mitigación se ha incluido una capacidad de 600 MW de solar térmica y 1,300 MW de fotovoltaica.

VIII.3.2.2 Energía Eólica

México posee también un gran potencial natural para la instalación de centrales eólicas. Las condiciones del viento en el Sur del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca son de las mejores del mundo, además de esta región las Península de Yucatán y Baja California y la parte norte del Golfo de México son las más estudiadas y con mayor recurso en el País. Hay publicaciones en los Estados Unidos que cuantifican un potencial superior a 30,000 MW para el estado de Oaxaca. Otras regiones como Zacatecas, La Rumorosa y el litoral de la Península de Baja California, así como grandes extensiones de los litorales del Pacífico y del Golfo de México, podrían agregar otro potencial de 10,000 MW.

Figura VIII.8 Parque Eólico Eurus en Oaxaca

Fuente: (Sanchéz Saleh Ivonne, 2009)

En la estrategia se ha incluido la instalación de una capacidad de 3,405 MW para el estado de Oaxaca y de 6,798 MW para el resto del país. Los factores de planta

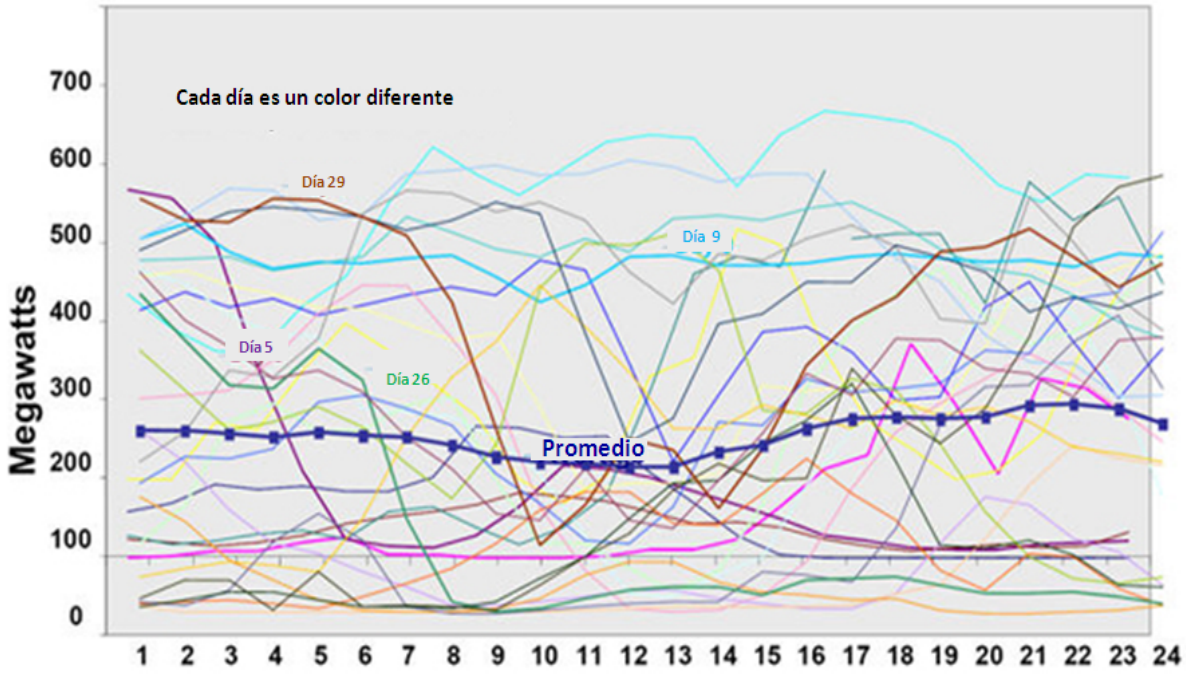
Folio No. 0025

empleados en la estrategia de mitigación corresponden a 35 % para la región de Istmo de Tehuantepec y de 25 % para el resto del País.

VIII.3.2.3 Intermitencia

La intermitencia en la generación de energía eléctrica restringe la proporción de las energías renovables que puede ser incluida en el portafolio y la necesidad de ser respaldada, generalmente con generación a base de gas natural, incrementa el costo de la reducción de emisiones de CO_2 particularmente para las tecnologías solar fotovoltaica y eólica.

Figura VIII.9 Generación de energía eólica a horas y diferentes dias en California



Fuente: (Megawatt Storage Farm Inc, 2010)

Se puede anticipar que para adiciones de capacidad por arriba del 10% de capacidad de generación eólica, los costos de la reducción de CO_2, podrían incluir dispositivos para el seguimiento de la carga, regulaciones en la reserva y expansiones en la red eléctrica.

En ciertas partes del mundo se estudia la introducción de tecnología moderna en la red para incrementar su eficiencia global que permita mejorar y hacer coincidir la curva de demanda con la oferta, permitiendo con esto, entre otros factores, incrementar la participación de las energías renovables intermitentes, así como ayudar a bajar las pérdidas en la transmisión y distribución de la red nacional.

Folio No. 0026

VIII.3.2.4 Energía Geotérmica

En el pasado reciente diversos autores nacionales han presentado estimaciones del potencial geotérmico de México. En 1975 se proporciona una estimación del potencial de los recursos de alta entalpia de 4,000 MWe.

Posteriormente, en 1985 se presenta una nueva estimación basada en las definiciones de: reservas probadas, probables y posibles obteniendo para las probadas 1340 MWe, para las probables 4600 MWe y para las posibles 600 MWe.

En el 2004 se estimaron las energías térmicas totales y sus reservas geotérmicas para 276 localidades de la republica estimándose que el total de la reservas se encuentra entre 7.7 y 8.6 x 1016 KJ ó 2.14 x 1010 y 2.39 x 1010 MWt h.

Figura VIII.10 Fotografía de la planta geotérmica del proyecto Soultz.

Fuente: (Gérard, 2006)

Finalmente, CFE elaboró en 2009 un mapa del potencial geotérmico de la República Mexicana, en el cual se calculó el potencial, aprovechando el inventario nacional de manifestaciones termales con que cuenta CFE. Esto permitió identificar más de 1380 manifestaciones distribuidas en todo el País. Estas manifestaciones corresponden a diferente tipo: manantiales, hervideros, fumarolas, volcanes de lodo, suelos calientes, pozos y norias de agua caliente, a continuación un resumen de resultados:

Las reservas probadas son aquella donde el análisis de datos de geología e ingeniería estima con “razonable certeza” que serán recuperables comercialmente de yacimientos conocidos y bajo condiciones económicas y de operación actuales. Bajo este criterio las reservas probadas que pueden instalarse son 186 MW, en los campos de Cerro Prieto, Los Humeros, Los Azufres, y un campo a desarrollar en Cerritos Colorados.

El cálculo de las reservas probables dio como resultado: 1,643 MWe para el recurso de alta entalpia, para los de moderada entalpia 220 MWe y para los de baja entalpia de 212 MWe dando un potencial de 2,077 MWe.

En tanto los resultados para las reservas posibles fueron de 7,423 MWe.

Con base en lo anterior se puede considerar que existe un potencial de 1,966 MWe que sería comercialmente explotable.

En el caso de esta estrategia de mitigación se ha considerado una instalación adicional de 1,351 MW.

VIII.3.2.5 Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es el principal aprovechamiento de la energía renovable en la producción de energía eléctrica, con una capacidad instalada de 11,508 MW distribuidos en las cuencas de los ríos Grijalva, Balsas, Santiago, Papaloapan, Pánuco, Yaqui, El Fuerte, Culiacán y Sinaloa principalmente.

Figura VIII.11 Central Hidroeléctrica Tuxpango, Veracruz

Fuente: (Ingeniería, 2010)

El potencial de energía hidroeléctrica nacional estimado por CFE, mediante diversos estudios durante la últimas décadas han permitido cuantificar una capacidad total de 41,132 MW. Esta capacidad considera proyectos que se encuentran en diversas etapas de desarrollo, desde el nivel de identificación hasta proyectos en diseño.

En el caso de esta estrategia se ha considerado una instalación adicional de 3,857 MW, la mayoría de los cuales están incluidos ya en el POISE.

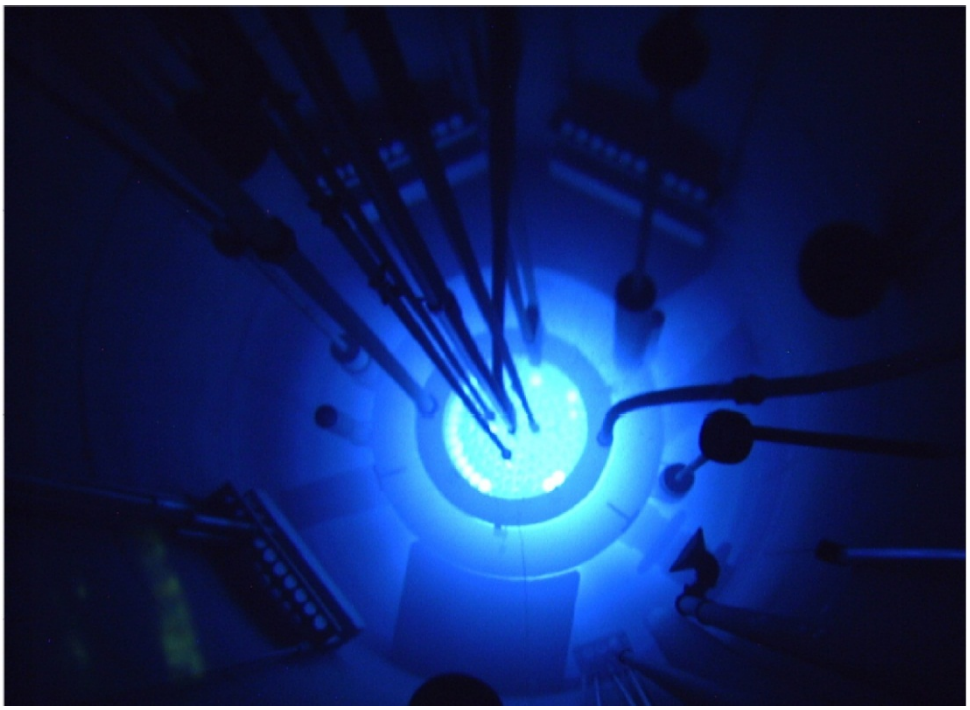
VIII.3.2.6 Energía Nuclear.

La Estrategia Nacional Energética con una Visión hacia el 2024, plantea alcanzar un 35 % de capacidad instalada en Energías Limpias, donde las energías renovables, las grandes hidroeléctricas y la energía nuclear serán un factor clave para la seguridad energética y la sustentabilidad ambiental.

En apoyo a esta estrategia CFE está en proceso de presentar un Plan Nuclear que podría incluir hasta 6 unidades nucleoeléctricas con una capacidad del orden de 1,400 MW cada una, para una capacidad adicional de 8,400 MW.

Considerando los estudios que CFE ha realizado en el pasado en diversos sitios para la ubicación de nuevas nucleoeléctricas, se podrían construir 2 unidades adicionales en el sitio existente de Laguna Verde, otras 2 unidades en el Golfo de México Norte y 2 unidades más en el Pacífico Norte.

Figura VIII.12 Reactor Nuclear



Fuente: (The American Ceramic Society, 2010)

Suponiendo que se inician en el corto plazo los trabajos necesarios de estudios de sitio e ingeniería básica, es factible iniciar las actividades constructivas de la primera de estas unidades en 2015, para tener la primera nueva unidad operando en 2020, iniciando la operación de las 5 restantes entre 2020 y 2024, ya que la construcción se realizaría simultáneamente en los 3 sitios.

Dado el alto factor de planta de las nucleoeléctricas, esta sería la alternativa tecnológica que contribuiría más significativamente a la reducción de emisiones de carbono.

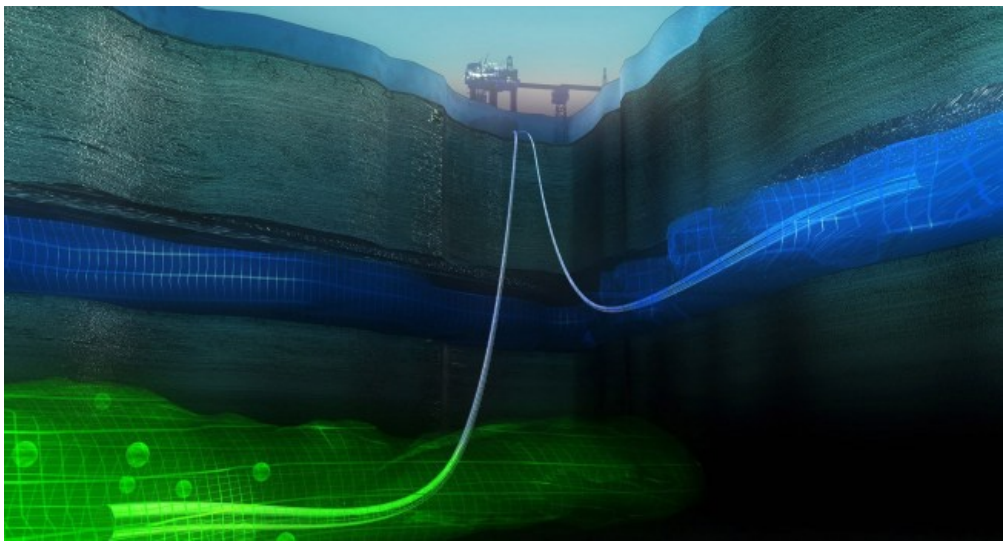
Folio No. 0029

VIII.3.2.7 Ciclos combinados a gas natural con captura de CO_2

Por la importancia que en México tiene y tendrá la generación de energía eléctrica con ciclos combinados que quemen gas natural, se ha considerado conveniente la inclusión de esta tecnología en el portafolio de CFE pero con la particularidad de incluir para la segunda generación de los mismos la tecnología de captura de CO_2 y su posterior almacenamiento o inyección a campos petroleros.

Aunque la captura de CO_2 en una unidad de ciclo combinado pueda parecer simple debido a la naturaleza más homogénea de los gases de combustión, dicha captura jugará posiblemente un papel menos importante que, por ejemplo en plantas carboeléctricas. Los ciclos combinados tienen una concentración menor de CO_2 en los gases de combustión, lo que hace que su extracción sea menos económica, especialmente cuando se toma en cuenta la reducción en la eficiencia térmica y el combustible adicional requerido al incorporar la captura. Sin embargo, en el largo plazo la captura en los ciclos combinados puede ser importante en un sector eléctrico libre de carbono. Los 2 ciclos combinados con captura de carbono mostrados en la tabla anterior tienen una eficiencia reducida de 54% y 40%. El valor de 54% deberá revisarse.

Figura VIII.13 Simulación para la Captura y Secuestro de CO_2



Fuente: (IFE, 2010)

En el panorama internacional, la Agencia Internacional de Energía (IEA) ha planteado 2 escenarios para la integración de los portafolios de generación de energía eléctrica, con una meta de reducción de emisiones de CO_2 de 14 GTon para el primer escenario y de 18 GTon para el segundo. Se observa que la mayoría de la electricidad generada por carboeléctricas en ambos escenarios proviene de unidades equipadas con sistemas de captura. De la misma manera la mitad de la electricidad generada por ciclos combinados en dichos escenarios proviene de ciclos combinados con captura.

Folio No. 0030

VIII.3.2.8 Estrategia Integrada

Se presenta a nivel nacional, una estrategia para el desarrollo sustentable de bajo contenido de carbono. A partir de ella es posible calcular la generación eléctrica anual, las emisiones anuales de CO_2, y el balance de energía utilizando para tal efecto los Factores de Planta, los Factores de Emisión, y Consumo Energético que se muestran a continuación, los cuales se consideran representativos de cada tecnología.

Tabla VIII.3 Factores de planta, emisión y consumo energético

Tecnología	Factor de planta (%)	Factor de emisión (tCO2/MWh)	Combustible	Eficiencia bruta (%)	Régimen térmico bruto (MJ/MWh)	Unidad de combustible (U)	Poder calorífico superior (MJ/U)	Consumo unitario de combustible (U/MWh)
Hidroeléctrica	333	0	Agua	-	-	-	-	0
Geotermoeléctrica	90	0	Vapor Geotérmico	18.30	19,672	-	-	0
Eoloeléctrica	35	0	Viento	-	-	-	-	0
Nucleoeléctrica	87.2	0	Uranio Enriquecido	34.54	10,423	Gramo	4,017.70	2.594
Ciclo combinado 1ªG	54.9	0.3860	Gas natural	37	9,730	1,000 ft³	1,084.30	8.974
Termoeléctrica convencional combustóleo	46.5	0.8170	Combustóleo	36.39	9,892	Barril	6,627.30	1.493
Termoeléctrica convencional gas	46.5	0.5924	Gas natural	36.39	9,892	1,000 ft³	1,084.30	9.123
Turbogas	12.5	0.5870	Gas natural	37.11	9,700	1,000 ft³	1,084.30	8.946
Carboeléctricas	77.7	0.7900	Carbón	37.87	9,505	Tonelada Métrica	26,369.80	0.360
Combustión interna diesel	65	0.6500	Diesel	44.18	8,148	Barril	6,150.50	1.325
Combustión interna combustóleo	65	0.6710	Combustóleo	44.18	8,148	Barril	6,627.30	1.229
Lecho Fluidizado	77.7	0.8470	Coque de Petróleo	41.38	8,699	Tonelada Métrica	30,676	0.284
Lecho Fluidizado + CCS	77.7	0.1160	Coque de Petróleo	32.03	11,243	Tonelada Métrica	30,676	0.367
IGCC	70	0.7570	Carbón	38.2	9,413	Tonelada Métrica	26,369.80	0.357
IGCC+CCS	70	0.1130	Carbón	32.5	11,083	Tonelada Métrica	26,369.80	0.420
CC 2daG	74.7	0.3860	Gas natural	51.66	6,968	1,000 ft³	1,084.30	6.426
CC 2daG +CCS	74.7	0.0422	Gas natural	42.9	8,242	1,000 ft³	1,084.30	7.601
Combustión interna nueva	74.5	0.6710	Combustóleo	45.07	7,988	Barril	6,627.30	1.205
Solar fotovoltaico	10	0.0000	Sol				0.00	
Solar fotovoltaico	20	0.0000	Sol				0.00	
Relleno sanitario*	-	4.9875						
Excretas de Ganado*	-	4.9875						

* El factor de planta es para calcular emisiones evitadas

Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

VIII.3.2.9 Comparación entre la línea base y la estrategia de generación eléctrica de bajo contenido de carbono del sistema eléctrico nacional para el periodo 2010 - 2024.

En las siguientes dos tablas, se muestra a nivel País la Línea Base del Sistema Eléctrico Nacional así como la estrategia de bajo carbono.

Tabla VIII.4 Línea base programada para el sistema nacional

Tecnología	Capacidad (MW)			Generación (GWh)			Emisiones ($MtCO_2$)		
	2010	2020	2024	2010	2020	2024	2010	2020	2024
Hidroeléctrica	11,508	13,583	15,093	33,301	39,238	43,643	0	0	0
Geotermoeléctrica	880	1,081	1,081	6,937	8,522	8,522	0	0	0
Eoloeléctrica	1,158	3,863	3,863	3,530	7,135	7,135	0	0	0
Nucleoeléctrico	1,634	1,634	1,634	12,482	12,482	12,482	0	0	0
Ciclo Combinado	20,889	38,832	44,.992	114,327	227,896	269,824	43,858	87,659	103,845
Termo.Conv.Comb.	14,223	9,434	7,866	55,101	35,482	29,096	45,010	28,985	23,766
Termo. Conv. Gas	1,169	1,169	1,169	4,225	4,225	4,225	2,503	2,503	2,503
Turbogas	1,533	1,736	1,736	1,992	2,214	2,214	1,170	1,299	1,299
Carboeléctrica	5,378	5,378	8,178	36,605	36,605	55,664	28,918	28,918	43,974
Comb. Int. Combustóleo	215	516	695	1,254	3,217	4,387	841	2,157	2,943
Comb. Int. Diesel	736	736	736	388	388	388	228	228	228
Lecho Fluidizado	580	1,041	2,201	979	1,798	9,694	829	1,523	8,211
Total México	59,902	79,002	89,244	270,097	379,203	447,274	123,357	153,273	186,769

Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

Tabla VIII.5 Estrategia de baja intensidad de carbono para el sistema nacional

Tecnología	Capacidad (MW)			Generación (GWh)			Emisiones ($MtCO_2$)		
	2010	2020	2024	2010	2020	2024	2010	2020	2024
Hidroeléctrica	11,507	13,584	15,364	33,302	39,239	44,432	0	0	0
Geotermoeléctrica	880	1,081	2,231	6,937	8,522	17,093	0	0	0
Eoloeléctrica	1,136	4,041	4,451	3,482	11,952	13,047	0	0	0
Nucleoeléctrico	1,634	3,034	10,034	12,482	23,176	76,647	0	0	0
Ciclo Combinado 1ªG.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termo.Conv.Comb.	14,223	8,034	5,388	55,101	30,328	19,973	45,010	24,774	16,312
Termo. Conv. Gas	1,169	1,169	1,169	4,225	4,225	4,225	2,503	2,503	2,503
Turbogas	1,533	1,736	1,736	1,993	2,215	2,215	1,170	1,300	1,300
Carboeléctrica	5,378	5,378	5,378	36,605	36,605	36,605	28,918	28,918	28,918
Comb. Int. Diesel	736	736	736	388	388	388	228	228	228
Comb. Int. Comb.	215	516	695	1,254	3,217	4,387	841	2,157	2,943
Lecho Fluidizado	580	1,041	1,041	979	1,798	1,798	829	1,523	1,523
Lecho Fluidizado + CCS	0	0	1,160	0	0	7,896	0	0	916
IGCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGCC + CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciclo Comb. 2ªG	20,889	32,771	31,541	114,327	191,893	184,453	43,858	73,811	70,941
Ciclo Comb. 2ªG + CCS			3,100			20,286		0	856
Comb. Int. Nva.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eoloeléctrica (resto del país)	22	3,070	6,820	48	6,723	14,936	0	0	0
Solar Fotovoltaico	0	625	1,300	0	767	1,533	0	0	0
Solar Térmico	0	12	600	0	21	920	0	0	0
Relleno sanitario*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excretas de Ganado*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total México	59,902	76,827	92,833	271,122	361,068	450,832	123,357	135,214	126,440

Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

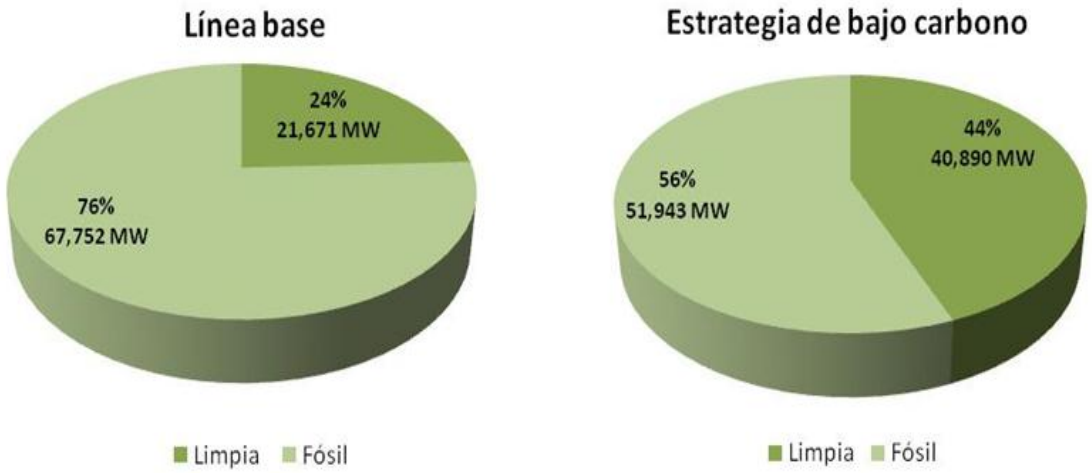
Folio No. 0032

Resulta de interés, con base en estos resultados, analizar capacidad, generación, y emisiones bajo ambos escenarios.

VIII.3.2.10 Capacidad

Como puede observarse en las tablas, la capacidad instalada en el 2010 de 59,902 MW está programada incrementarse al 2024 para el caso de la línea base a 89 244 MW, mientras que en la estrategia de mitigación es de 92,833 MW para el 2024. El porcentaje de capacidad que no emite gases de efecto invernadero (CO_2) es para el primer caso de 24% y el complemento que es capacidad fósil de 76%. Para el segundo caso correspondiente a la estrategia sustentable, las cifras anteriores se modifican significativamente siendo éstas de 44% y 56% respectivamente.

Figura VIII.14 Comparación de la capacidad: línea base *vs* estrategia sustentable en 2024



Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

Se observa también que se han incluido en el portafolio de CFE, nuevas tecnologías de generación como, solar fotovoltaica, solar térmica, que aunque su participación es escasa, se incursiona en una tecnología que en el futuro es prometedora.

Se incorporan asimismo centrales de lecho fluidizado, quemando carbón o coque de petróleo y ciclos combinados quemando gas natural. A estas unidades diseñadas para quemar estos combustibles se les está incorporando un equipamiento adicional muy importante con el cual se podrán capturar cantidades significativas de CO_2 presente en los gases de combustión que se emiten a la atmósfera (Carbon Capture and Storage, CCS por sus siglas en inglés).

Este CO_2 capturado puede entonces almacenarse en recintos geológicos o inyectarse en campos petroleros existentes para lograr una producción adicional de petróleo (Enhanced Oil Recovery, EOR por sus siglas en inglés) teniéndose por lo tanto un doble beneficio, el ambiental y el económico. Esta tecnología de captura,

Folio No. 0033

se encuentra en pleno desarrollo estimándose su maduración para los años 2020, razón por la cual se ha programado el inicio de operaciones en el 2024.

En capacidad eoloeléctrica, en adición a los 3,405 MW de incremento en el área del Istmo de Tehuantepec se está programando la adición de 6798 MW en el resto del país.

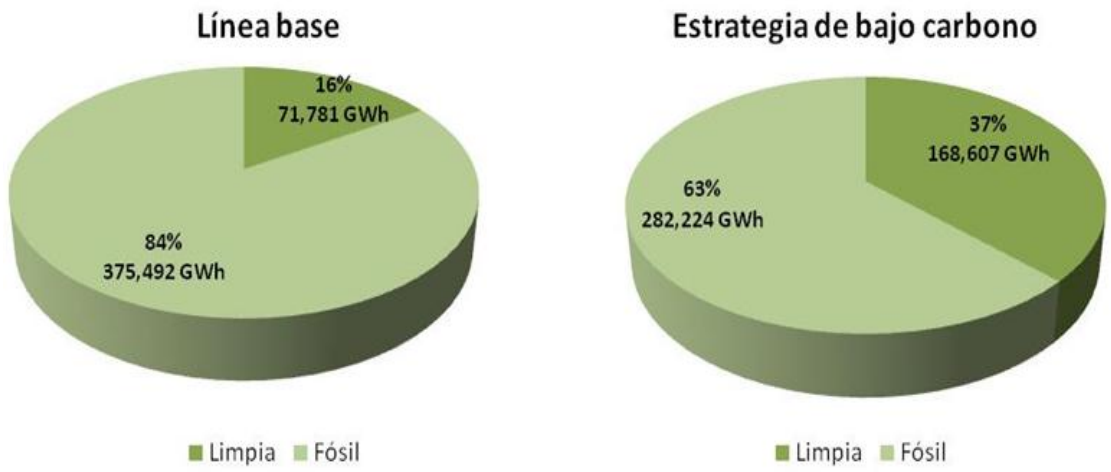
Para el caso de los ciclos combinados quemando gas natural, se está proponiendo una reducción de aproximadamente 10,350 MW para el 2024 con respecto a la Línea Base, pero se propone la adición de la tecnología CCS, lo que logra una reducción significativa adicional de emisiones de gases de efecto invernadero.

De la misma manera se programa una reducción de casi 9,000 MW de centrales termoeléctricas convencionales que queman combustóleo.

VIII.3.2.11 Generación de Energía Eléctrica

Como consecuencia de la anterior mezcla de capacidad y tomando en cuenta los diferentes factores de planta, se tendrá una generación para el 2024 de 447,274 GWh para la línea base y de 450,832 GWh para la estrategia sustentable, lo que resulta en una generación de energía Limpia de 71,781 GWh para el primer caso y de 168,607 GWh para la estrategia sustentable, con lo que se logra un incremento de 135% para la generación de energía limpia.

Figura VIII.15 Comparación de la generación: línea base *vs* estrategia de bajo carbono en 2024

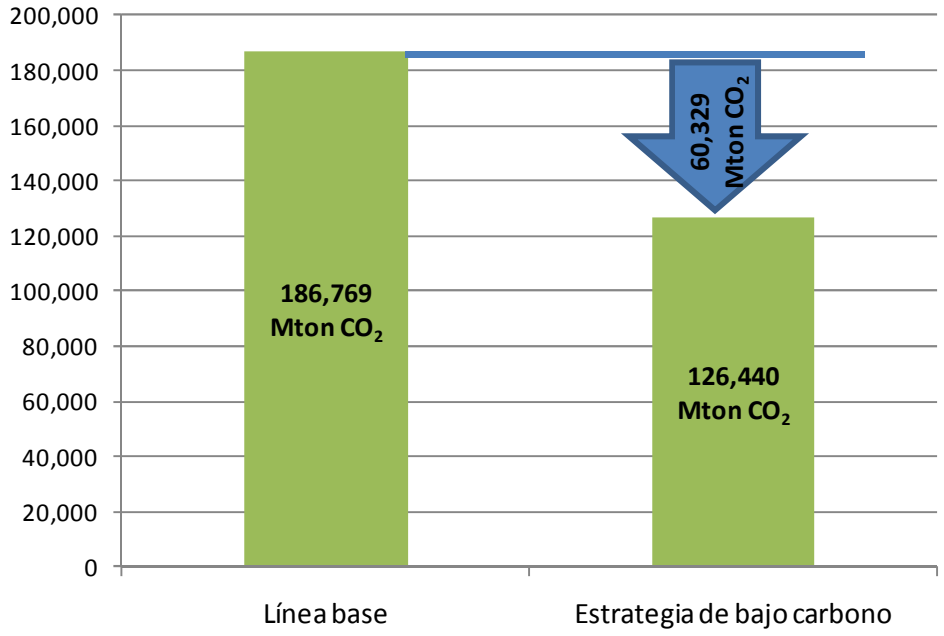


Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

VIII.3.2.12 Emisiones de CO_2

Al considerar la generación de energía eléctrica antes descrita, se emitirán 187 millones de toneladas de CO_2 en el 2024, para la línea base y 126 millones de CO_2 para la estrategia de bajo carbono con lo que se programa una reducción de 33% o 61 millones de toneladas de CO_2 que se dejarán de emitir a la atmósfera.

Figura VIII.16 Comparación de emisiones de CO_2 en 2024 (miles de toneladas de CO_2)



Fuente: (Centro Mario Molina, 2010)

Folio No. 0035

VIII.4 Estrategias para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero de la Industria Petrolera

La industria petrolera en México contribuye significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero 12% y puede también contribuir muy significativamente a la disminución de esta, en virtud de que existen numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia energética, disminuir las fugas y venteos así como eliminar la quema de gas natural.

Muchas de las estrategias tecnológicas que se ha adaptado en las empresas petroleras internacionales, para mejorar su competitividad y su desempeño energético y ambiental pueden ser aplicadas en México.

En Petróleos Mexicanos la estrategia qué más impacto tendrá sobre las emisiones de gases de efecto invernadero es la eliminación del venteo de gas natural y la minimización de su esquema. Esta es una acción obligada y urgente que se justifica por razones económicas evidentes además de las ambientales. Además de esta medida se han identificado seis estrategias de aplicación amplia en la industria petrolera que se describen a continuación y que conjuntamente pueden disminuir hasta 10 millones anuales de toneladas de CO_2e.

VIII.4.1 Instalación de plantas de alta eficiencia para la generación conjunta de vapor y electricidad (cogeneración)

De todas las tecnologías industriales para el ahorro de energía disponibles la que mayor potencial tiene en la industria petrolera es la generación conjunta de vapor y electricidad. Como se indicó en el capítulo 1 es una tecnología madura, ampliamente probada y que duplica prácticamente la eficiencia energética de los sistemas. Es sin embargo una tecnología que requiere altas inversiones y tiempos de instalación y esta es una de las razones por la que no se ha utilizado en la industria petrolera nacional.

Instalar plantas de cogeneración de alta eficiencia, para la producción conjunta de electricidad y vapor con mayor eficiencia térmica que cuando la generación de estos servicios se hace independiente, con lo que además, se sustituirían los equipos ineficientes que se tienen en algunas instalaciones de Pemex para la generación de electricidad y vapor.

Objetivo de la Estrategia.- Reducir el consumo de combustibles y consecuentemente las emisiones de GEI que se producen en el área de servicios auxiliares de las instalaciones industriales de Pemex, como resultado de la generación de vapor y electricidad, con el cambio de equipos ineficientes que actualmente se utilizan para la generación de estos servicios.

Descripción de la Estrategia.- Los centros de proceso de Pemex actualmente generan la electricidad que requieren, simultáneamente utilizan combustible para la generación del vapor de alta presión necesario para los procesos. La generación de ambos servicios auxiliares la hacen a bajos niveles de eficiencia y con altos costos de generación y grandes emisiones de GEI, especialmente CO_2. La

Folio No. 0036

cogeneración se haría con una tecnología denominada ***Gas Turbine-Heat Recovery Steam Generator***, que tiene una eficiencia de conversión calorífica de entre 70 y 80%. La planta cubriría la demanda de electricidad del centro de trabajo en el que estaría colocada y el resto podrá transportarse a otros centros de trabajo de Pemex, utilizando las redes de transporte de electricidad de la CFE o inclusive puede venderse a ésta.

La mayoría de la electricidad necesaria por los procesos industriales de Pemex es autogenerada dentro de los complejos de gas o petroquímicos, así como en las refinerías. Solamente existe una interconexión con líneas de la CFE para contar con un respaldo del orden del 10% de las necesidades de electricidad. En las terminales de bombeo y almacenamiento de hidrocarburos líquidos se recibe la electricidad de CFE.

Pemex Refinación tiene una capacidad de generación en sus 6 refinerías de 642 MW. Pemex Gas y Petroquímica Básica cuenta con una capacidad en sus 6 Centros Procesadores de 165 MW. Pemex Petroquímica en sus 6 complejos dispone de 271 MW de capacidad de generación.

Potencial de Cogeneración.- Para estimar el potencial de cogeneración aprovechable en Pemex se consideran los principales centros generadores y consumidores de vapor y energía eléctrica, particularmente aquéllos centros cuya futura operación está contemplada en la Estrategia Institucional de la Empresa.

Para establecer la viabilidad de los proyectos de cogeneración se debe tomar en cuenta que estos se colocarían cercanos a las instalaciones en donde se autogeneran grandes cantidades de electricidad. En donde la CFE estaría tomando los excedentes de electricidad. Basados en estas premisas, se podrían colocar las plantas de cogeneración de la siguiente manera:

Las refinerías, excepto la de Minatitlán, tendrían un potencial de 1,900 MW. Los complejos petroquímicos de Cangrejera y Morelos de PPQ 900 MW. Todo esto adicional a lo que se cogenerará en el CPG Nuevo Pemex, de PGPB, de 300 MW. Por lo que su potencial total es de más de 3,000 MW.

Estos proyectos podrían ser desarrollados por la iniciativa privada o por la CFE, Pemex aportaría el combustible y recibiría como pago electricidad y vapor de agua.

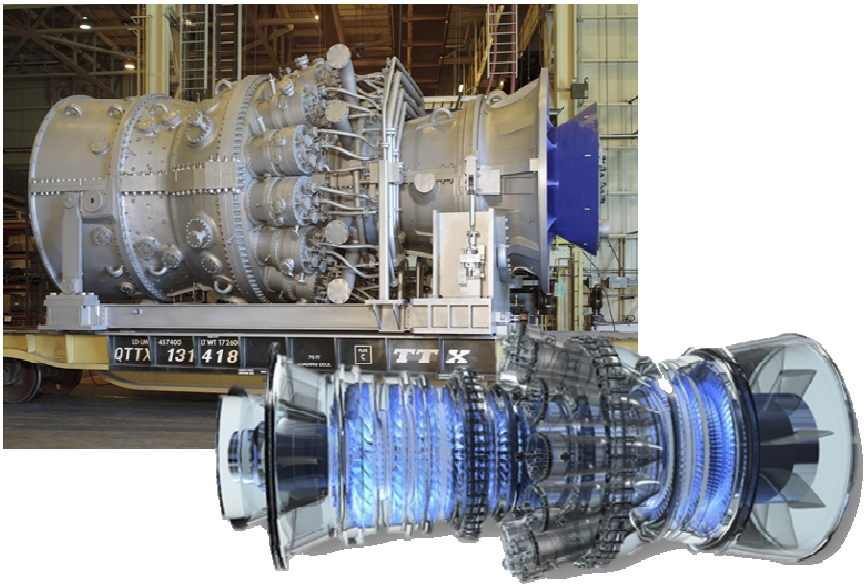
La rentabilidad económica y ambiental de estas plantas de cogeneración esta fuera de duda sobre todo es un contexto de precios crecientes de la energía y ante la eventual adopción de un impuesto a las emisiones de CO_2. Por ser instalaciones de gran capacidad de generación y que requiere de grandes inversiones es necesario que se planeen en conjunto con la Comisión Federal de Electricidad y que se financien por el sector privado fuera de los techos presupuestales de las empresas estatales.

Actualmente está en desarrollo el primer proyecto de cogeneración en Nuevo-Pemex Tabasco con una capacidad de 300 MW que entrará en operación en el año 2013.

Se estima que con la construcción de ésta planta se ahorrará Pemex 67.5 MMpcd de gas natural y 1,000 barriles diarios de combustóleo. Lo cual equivale a 940 mil toneladas de CO_2e ($MtCO_2e$) anuales que dejarán de emitirse, cuando el proyecto alcance su producción máxima y se hayan sustituido los equipos ineficiente. En ausencia del proyecto se seguirían emitiendo 2.5 $MMtCO_2$ anuales por la generación de 300 MW y 475 t/hr de vapor por el sistema convencional que utiliza Pemex.

Para estas estimaciones se considera que todos los proyectos de cogeneración se harían con un cambio de combustible a gas natural sin embargo existe la posibilidad que al realizar los proyectos de cogeneración en lugares cercanos a las refinerías, éstas utilicen como combustible el coque producido en las refinerías como resultado de su reconfiguración.

Figura VIII.17 .Trubina de gas GE Energy Frame 7FA



Fuente: GE Energy Financial Services

En la mayor parte de los casos las plantas de cogeneración serian nuevas instalaciones y parte de ellas estarían sustituyendo plantas viejas y obsoletas de generación de vapor o electricidad de las refinerías y de otros centros de proceso de Pemex. De aprovecharse todo el potencial identificado de cogeneración en Pemex se podrían reducir 6 millones de toneladas de CO_2 por año.

VIII.4.1.1 Modernización de calderas de vapor, recuperadoras de calor y hornos de pirolisis

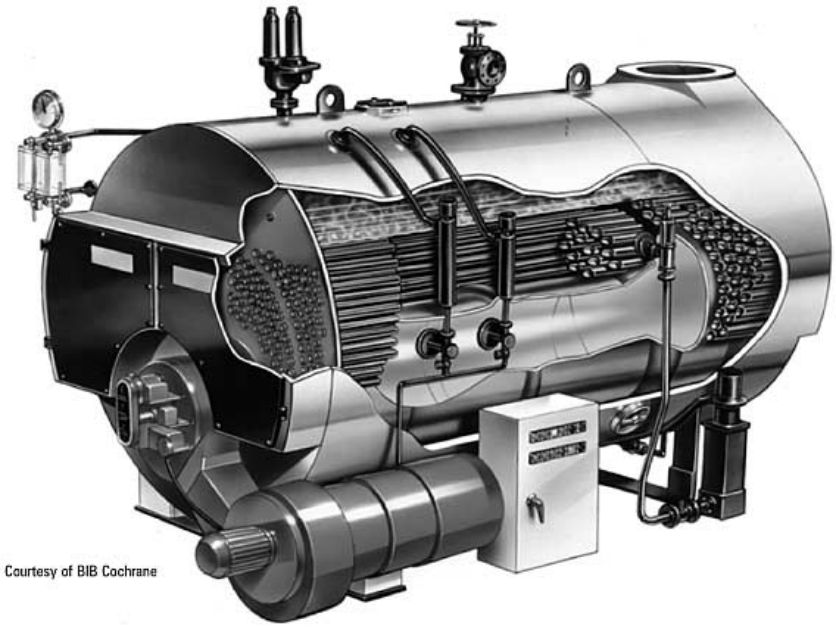
La segunda estrategia tecnológica para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por su potencial de mitigación en la industria petrolera es la que se deriva de la modernización de las calderas de vapor, los equipos de recuperación de calor y los hornos.

El objetivo de esta estrategia es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan durante la combustión de gas natural para la producción del vapor de agua requerido como medio de calentamiento en los procesos, principalmente en aquellas calderas que operan ineficientemente ya sea por su estado físico o porque su tecnología está obsoleta. La operación ineficiente se refleja en mayor consumo de gas natural, baja eficiencia de quemado del gas natural, mayor calentamiento de aire que el requerido y menor producción de vapor. Aunado al riesgo de operar con calderas con límite de retiro cercano o rebasado. El vapor de agua es un servicio imprescindible en las plantas el cual no debe fallar y no puede ser escaso.

Descripción de la estrategia.- Modernizar física y tecnológicamente todos los componentes del sistema, esto incluye la caldereta, los quemadores de gas, el refractario, precalentadores e instrumentación. Al mismo tiempo repotenciar la caldera.

Implementación de la estrategia.- Esta es una estrategia altamente replicable en toda la industria petrolera, tomando como base la experiencia de la rehabilitación de algunas calderas en los centros procesadores de gas (Cactus, Nuevo Pemex, y Poza Rica), se demostró que se puede tener una mejora en la eficiencia entre el 5 y el 7%. Además con la repotenciación de las calderas se podría lograr una generación mayor entre el 10 y el 15%, además con la caldera rehabilitada se lograría mayor eficiencia en la capacidad operativa, llegar al 90%,, en lugar del 65% en la que operaban cuando no estaban rehabilitadas. Todos estos ingredientes traen consigo que se puedan sacar de operación algunas calderas y por lo tanto darle mejor uso al gas quemado, al no tener que calentar en exceso aire.

Figura VIII.18 Caldera de vapor.



Fuente: Spirax Sarco (http://www.spiraxsarco.com/)

En esta estrategia están consideradas también la rehabilitación o modernización de hornos, que con la modificación propuesta se podría hacer más eficiente el consumo de gas, pues se les estarían cambiando los quemadores por unos de alta eficiencia y/o agrandando los tubos en la zona convección para precalentar corrientes.

De acuerdo al estado y edad de las instalaciones se estima que podrían rehabilitarse al año 2030 las dos terceras partes de las calderas existentes, principalmente en las refinerías y los centros petroquímicos, lo que equivaldría a reducir las emisiones de CO_2 en 1.60 millones de toneladas de CO_2 anuales (aproximadamente 40 calderas). En esta cifra están incluidos 15 proyectos ya inscritos en el PECC que contemplan modernización de hornos de pirólisis de etileno, calderetas recuperadoras de calor de plantas catalíticas y la modernización de las calderas de Pemex-Gas en Cactus, Nuevo Pemex y Poza Rica.

Al igual que las plantas de cogeneración estas sin inversiones renovables que en muchos casos no se han realizado por falta de presupuesto, es conveniente desarrollar esquemas de contratación que permitan a empresas privadas financiar las inversiones y recuperarlas con el flujo que generan los ahorros de energía.

VIII.4.1.2 Instalación de quemadores e incineradores de alta eficiencia

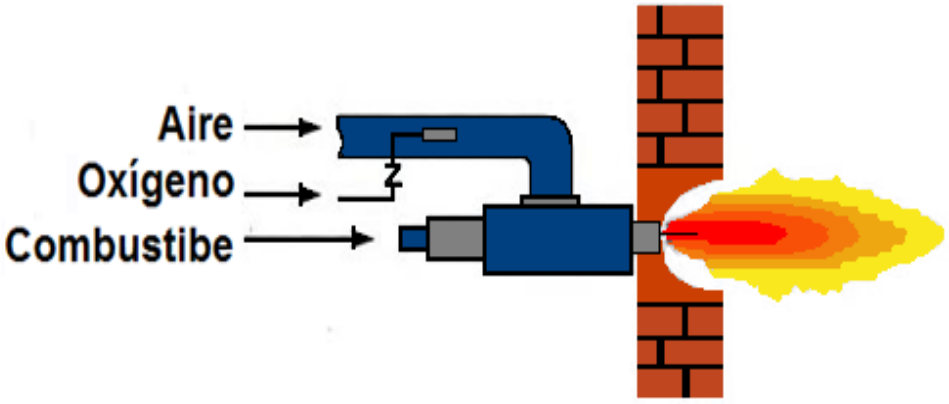
En los procesos industriales de Petróleos Mexicanos existe gran número de quemadores cuyo desempeño es deficiente y no corresponde al estado del arte de la tecnología disponible hoy en día.

Varios de los quemadores que están instalados en los centros procesadores de gas, del tipo elevado o de piso, se encuentran fuera de capacidad principalmente porque fueron diseñados e instalados para la capacidad inicial de los centros de proceso pero el número de plantas ha aumentado, aunado a esto existen problemas operativos en virtud de que están llegando a los quemadores mayores cantidades de hidrocarburos que las consideradas originalmente por lo que el quemado de los hidrocarburos no es completo y por lo tanto se envían a la atmósfera hidrocarburos no quemados.

Por otro lado algunos quemadores son ineficientes, la tecnología actual permite llegar a quemar el 100% de lo que llega, y no es necesario mantener el quemador permanentemente prendido. Además de los seis proyectos de esta naturaleza inscritos en el PECC se deben realizar otros cinco proyectos de instalación o cambio de quemadores elevados en refinerías y en centros petroquímicos, lo que en total conlleva una reducción de emisiones del orden de 1.20 millones de toneladas de CO_2 anuales.

Folio No. 0040

Figura VIII.19 Quemador de combustión mejorada con oxígeno.



Fuente: (Baukal, 2010)

Esta es una iniciativa de alto potencial, por lo que se propone hacer un censo detallado de quemadores elevados o de piso susceptibles de ser optimizados para mejorar la calidad de quemado de los hidrocarburos en todo Petróleos Mexicanos. Este estudio debe incluir desde la evaluación de las cantidades que se están enviando a quemar, iniciándolo desde la revisión del sistema de desfogue de las plantas, el diseño, operación y su estado físico.

VIII.4.1.3 Cambio de los sellos húmedos por sellos secos, en los compresores instalados en los Centros Procesadores de Gas Natural y estaciones de recompresión para eliminar las fugas de metano

Objetivo de la estrategia.- De acuerdo con los estándares[4] de la industria, alrededor de 80% de las fugas de metano provienen de la operación de compresores de gas natural, especialmente de aquellos compresores que tienen sellos húmedos. En los sellos húmedos el aceite de sello absorbe gas que luego se escapa. La estrategia consiste en cambiar los sellos húmedos por secos en los compresores centrífugos en las instalaciones de compresión de gas o en los centros procesadores de gas.

De acuerdo con valores reportados y estudios específicos se sabe que cada sello húmedo en compresores emite 40 pies cúbicos estándar por minuto (SCFM) (68 m^3/hr) de metano y los sellos secos fugan un máximo de 6.5 SCFM (11 m^3/hr). La diferencia es significativa. De acuerdo con el censo de compresores, el 65% de los compresores que se encuentran en los centros procesadores de gas carecen sellos secos.

[4] Fuente: "Replacing Wet seals with dry seals in centrifugal compressors" (EPA 430-B-03-012)

Figura VIII.20 Sellos secos en compresores

Fuente: JohnCrane

Para esta estrategia, además de los proyectos ya incorporados al PECC, se considera el cambio de sellos a 75 compresores de los centros procesadores de gas y las estaciones de recompresión que representan el 35% de los compresores grandes actualmente instalados, lo que representaría una disminución de las emisiones en 750 mil toneladas de CO_2e anuales.

VIII.4.1.4 Modernización y cambio de aislamiento en tuberías y equipos

Gran cantidad de sistemas en la industria petrolera requieren de aislamiento para minimizar la pérdida de calor. Existen hoy en día materiales para el aislamiento térmico de las tuberías y los equipos que son mucho más eficientes que los existentes en las instalaciones petroleras. Es también conveniente en muchos casos revisar el espesor de los aislantes para garantizar que se minimicen las pérdidas de energía y consecuentemente se disminuya la generación de vapor y el consumo de combustibles asociado.

Esta estrategia propone llevar a cabo un cambio de los aislamientos de las tuberías y equipos de las plantas, los cuales fueron colocados para minimizar la pérdida de energía al ambiente. Es práctica normal cambiar los aislamientos cuando estos se encuentran deteriorados por envejecimiento o se están desprendiendo, es decir el cambio es normalmente por ese estado físico. Aquí lo que se propone es hacer una revisión de la especificación de los aislamientos para establecer en esta los materiales más eficientes, establecer el coeficiente de transferencia de calor con el

Folio No. 0042

que se determinó el espesor necesario para cada rango de temperatura y hacer una selección de marcas y proveedores que cumplan con lo especificado.

Los aislamientos actuales pueden alcanzar una eficiencia de casi 100%, lo que comparado con las características de los aislantes anteriores puede conducir a un ahorro de energía en el rango de 2 a 4% de la energía generada para la producción del vapor de calentamiento. Si se considera que se cambiaran los aislamientos por unos más eficientes a la tercera parte de las plantas actuales que hay en las refinerías y plantas petroquímicas se podría tener un ahorro de energía que resultaría en disminuir las emisiones del orden de 150 mil toneladas de CO_2e anuales.

Figura VIII.21 Aislamiento con lana mineral

Fuente: ATYMI (http://www.atymisa.com/web/)

VIII.4.1.5 Sustitución de cambiadores de calor grandes y tradicionales por cambiadores más eficientes tipo Packinox

Pemex Refinación y Pemex Petroquímica han substituido algunos cambiadores de calor por equipos tipo Packinox, con excelentes resultados de ahorro de energía, pero no se han podido continuar esos esfuerzos por problemas presupuestales, ahora se propone terminar con la identificación de los procesos y los equipos susceptibles de ser cambiados porque se han demostrado los cuantiosos ahorros de energía en estos equipos.

Folio No. 0043

Figura VIII.22 Cambiador de calor de alta eficiencia “Packinox” en la Refinería Miguel Hidalgo

Fuente: Constructores y Proveedores siglo XXI. (http://www.cypsigloxxi.com/web/)

Este tipo de equipos pueden instalarse en las plantas que tienen grandes intercambios de calor, como son las primeras plantas de la cadena del proceso de refinación y en varias plantas petroquímicas. De acuerdo con información disponible podría lograrse una mejora energética de entre el 8 y el 12%. Si se llegaran a instalar equipos de intercambio de calor de tipo Packinox en las primeras plantas de la cadena del proceso de refinación y en las plantas mayormente consumidoras de energía de la petroquímica, se podría lograr una disminución del orden de 150 mil toneladas de CO_2 anuales.

VIII.4.1.6 Sustitución de trampas de vapor

En los sistemas de trampas de vapor actualmente se fuga vapor de agua o condensado caliente cuando estos equipos están mal especificados, mal instalados, mal mantenidos o fuera de capacidad.

Con la sustitución de los dispositivos que estén operando mal, de acuerdo con las buenas prácticas de operación de las empresas de refinación, podría lograrse un ahorro de hasta el 8% de vapor de agua y por lo tanto menos quema de combustible para la generación de este. Se propone la estrategia de cambiar el 50% de las trampas de vapor instaladas en las plantas existentes, lo que conduciría a reducir del orden de 130 mil toneladas de CO_2 anuales.

Folio No. 0044

VIII.5 Desarrollo sustentable de los Bioenergéticos

VIII.5.1 Legislación

El 1° de febrero de 2008 se publicó en el diario of icial de la federación la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos cuyo objetivo principal es la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y al desarrollo sustentable como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano. Diversificando los ingresos de los productores mediante el aprovechamiento de la biomasa, con acciones que formarán parte de la nueva transición energética, con la introducción de los biocombustibles en las mezclas de gasolinas, bajo criterios de sustentabilidad (Unión, 2008).

En cumplimiento a la Ley, el 27 de febrero de 2008 se instaló la Comisión de Bioenergéticos, la cual está integrada por los Titulares de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Energía (SENER), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Economía (SE) y, Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), siendo su objetivo establecer, atender, coordinar, dar seguimiento y fomentar, las acciones y proyectos que tengan como propósito impulsar la producción, introducción y promoción de los bioenergéticos, el desarrollo científico y tecnológico, en cumplimiento de la Ley.

En relación a la Ley de Bioenergéticos se han publicado los siguientes programas y reglamento:

- Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico (SAGARPA)
- Programa de Introducción de Bioenergéticos (SENER)
- Programa para el uso de Biodiesel en México (SENER-PEMEX), y
- Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Ejecutivo Federal)

El Programa de Producción Sustentable de SAGARPA establece una meta para el año 2012 de hasta 300 mil hectáreas como superficie para cultivos que sirvan a la obtención de 13.3 millones de toneladas de biomasa para transformarla en 880 millones de litros de etanol e incorporarlo como oxigenante (sustituir el MTBE) al 2% en peso (en promedio) en la gasolina de las tres zonas metropolitanas de Guadalajara, en una primera etapa, seguida de Monterrey y finalmente el Valle de México (Secretaría de Agricultura, 2008).

A diferencia del etanol el propósito de la introducción del biodiesel en México es la sustitución de aditivos químicos para mejorar las propiedades de lubricidad en el Diesel de ultra bajo azufre UBA). Pemex Refinación ha definido una estrategia de integración del biodiesel la cual consta de dos fases, la primera es probar el uso como aditivo en 30 mil barriles diarios de Diesel UBA y la segunda integrara el biodiesel como aditivo al total de la producción nacional del Diesel UBA si el desarrollo del mercado de bioenergéticos así lo permite(SENER-PEMEX).

Folio No. 0045

Uno de los objetivos que menciona el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) con respecto a biocombustibles es: "fomentar la producción y uso sustentable de biocombustibles en México como una alternativa tecnológica baja en carbono" (Federal, 2009). Las metas para cumplir este objetivo son las siguientes:

Tabla VIII.6 Consumo de energía en el autotransporte 1998 y 2008. (Petajoules)

Metas	Responsables
Definir los criterios de sustentabilidad para evaluar el desempeño de las diferentes tecnologías de producción de biocombustibles, en 2010.	SEMARNAT
Reconvertir 300,000 hectáreas a cultivos que sirvan de insumos en la producción de biocombustibles, durante el periodo 2009-2012, sin comprometer la seguridad alimentaria o la integridad de los ecosistemas.	SAGARPA, SEMARNAT
Adecuar la infraestructura para incluir etanol anhidro en las gasolinas de la ciudad de Guadalajara, entre 2009 y 20012.	SENER-PEMEX

Fuente: (Federal, 2009)

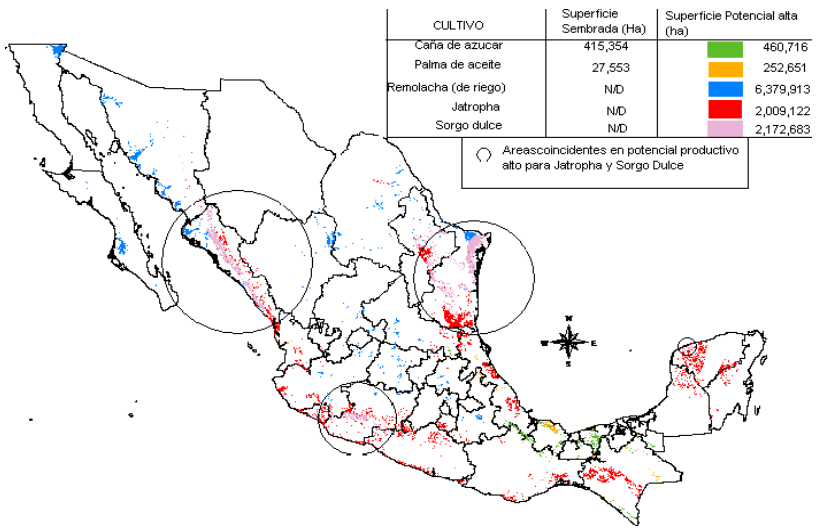
VIII.5.2 Potencial

De acuerdo al Programa de Producción sustentable realizado por SAGARPA existen varios cultivos potenciales para la producción de bioenergéticos, todos ellos de primera generación, los cuales son la caña de azúcar, el sorgo dulce y la remolacha para la producción de etanol y la jatropha, la higuerilla y la palma de aceite, para la producción de biodiesel.

En este programa se indica un potencial productivo para la caña de azúcar de más de 4 millones de hectáreas, para remolacha azucarera de más de 2 millones de hectáreas tanto en zonas de riego, como en zonas áridas y semiáridas del altiplano mexicano, para el sorgo dulce poco más de 2 millones de hectáreas, para la jatropha con más de 2 millones de hectáreas en zonas tropicales y subtropicales y para la palma de aceite de más de 250 mil hectáreas en zonas con climas cálidos y subcálidos húmedos (Secretaría de Agricultura, 2008).

Folio No. 0046

Figura VIII.23 Zonas de potencial productivo de los cultivos para la producción de biocombustibles



Fuente: (Secretaría de Agricultura, 2008)

VIII.5.3 Implicaciones ambientales

Como se mencionó en capítulos anteriores el uso de biomasa para obtener energía puede tener implicaciones ambientales negativas por lo que es necesario evaluar los costos y los beneficios de la producción de biomasa con el objetivo de utilizar su energía para el transporte o para la generación de electricidad. Es indispensable asimismo entender las complejas interacciones entre los mercados de alimentos y de energía, el uso de la tierra, el consumo de agua y los posibles impactos sobre los ecosistemas y la biodiversidad.

Esta compleja interacción es diferente en cada lugar y momento y para cada tipo de biomasa por lo que no es posible encontrar soluciones generales de aplicación universal. Es por lo tanto necesario en cada caso hacer un análisis cuidadoso y detallado de las implicaciones físicas y económicas de las propuestas específicas para el aprovechamiento energético de la biomasa.

Nuestro país es muy diverso en cuanto a condiciones climáticas, geográficas y de biodiversidad por lo que será necesario un análisis para cada lugar en donde se pretende realizar el uso de biomasa.

Diversificar la oferta energética e incrementar el uso de energías renovables es conveniente para México por razones estratégicas, económicas y ambientales. Los biocombustibles pueden jugar un papel destacado en este esfuerzo, pero es importante que su producción y su uso se apeguen a estrictos criterios de sustentabilidad.

Usando bien los biocombustibles, México puede contribuir a resolver los problemas globales y jugar un papel de liderazgo demostrando el uso responsable de sus recursos.

Folio No. 0047

En México, para que efectivamente el uso de biocombustibles sea benéfico para la sociedad y para el medio ambiente, es necesario garantizar que:

- Contribuya al bienestar económico regional y nacional
- No impacte indebidamente a la calidad del aire, el agua y el suelo
- Asegurar que el balance energético y de gases de efecto invernadero sea positivo (reduzca realmente la emisión neta de GEI)
- Estudiar el ciclo de vida completo del proceso
- No requiera de cuantiosos subsidios
- No compita con la producción de alimentos o afecte negativamente a sus mercados
- No afecte a la biodiversidad ni contribuya a la deforestación
- No conlleve el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas que dañen a los ecosistemas
- No degrade o agote recursos naturales esenciales como el agua y los suelos fértiles
- Garantice la sustentabilidad integral con visión de largo plazo

Una política inteligente y responsable para promover los biocombustibles en México debe tomar en cuenta todos estos factores, así como aprovechar las experiencias y el conocimiento internacionales, muy abundantes ahora, para encontrar el camino hacia el desarrollo energético verdaderamente sustentable (CMM, 2009).

En los últimos años, impulsados por preocupaciones de seguridad energética y la amenaza del cambio climático muchos gobiernos han establecido estrategias agresivas para promover el uso de biocombustibles en el transporte. Las normas que hacen obligatorio el uso de un porcentaje mínimo de biocombustibles en el transporte y el subsidio a la producción de estos, han provocado un gran incremento en la producción de biocombustibles en el mundo. Algunos de los sistemas de producción de biocombustibles que se han propuesto y adoptado en otros países, no cumplen con los criterios de sustentabilidad antes mencionados; y se han justificado en circunstancias económicas y energéticas muy diferentes a las que prevalecen en México. Por lo tanto, hay que ser cuidadosos y no adoptar sin más estrategias desarrolladas en contextos muy diferentes al nuestro, (desde la perspectiva de los biocombustibles, Brasil y Estados Unidos son muy diferentes a México).

Uno de los argumentos que más se usan para impulsar el uso de biocombustibles es su contribución a resolver el problema del calentamiento global resultante de la emisión de gases de efecto invernadero. Este aspecto ha sido motivo de muchos análisis y gran controversia, pero lo que está claro hoy en día, es que no cualquier biocombustible contribuye realmente a disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por ejemplo, los estudios integrales de Ciclo de Vida

Folio No. 0048

de los biocombustibles indican que el etanol producido a partir de maíz no contribuye a resolver el problema, y el obtenido a partir de la caña de azúcar sólo tiene un efecto positivo si se obtiene en forma muy eficiente y se aprovechan íntegramente todos los subproductos.

En general, si se utilizan fertilizantes y combustibles fósiles para la producción y transporte de los biocombustibles, las emisiones asociadas de bióxido de carbono y óxido nitroso (un gas de efecto invernadero muy potente) compensan en gran medida los beneficios de usar combustibles renovables. De hecho, está claro que en muchos casos el efecto neto es negativo, y que en lugar de combatir el cambio climático se le promueve.

Para asegurarse que los biocombustibles realmente contribuyan a resolver el calentamiento global, es necesario en cada caso hacer un análisis integral de Ciclo de Vida que cuantifique todas las emisiones asociadas al uso de estos productos. Por esta razón, es importante que cualquier normatividad contemple regular la forma en que se producen los biocombustibles, a fin de garantizar que su impacto climático sea positivo. Con el mismo propósito es importante el desarrollo de un sistema internacional de certificación para la producción sustentable de biocombustibles.

Por estas razones, hacer obligatorio el uso de combustibles de origen renovable sin regular la forma en que se producen puede conllevar cuantiosos costos económicos y ambientales y puede, por lo tanto, resultar contraproducente.

Una política inteligente y responsable para promover los biocombustibles debe tomar en cuenta todos los factores involucrados en la producción y obtención de los mismos, así como aprovechar las experiencias y el conocimiento internacional para encontrar un camino hacia el desarrollo energético sustentable.

Para asegurarse que los biocombustibles realmente contribuyan al resolver el calentamiento global, es necesario en cada caso hacer un análisis integral que cuantifique todas las emisiones y gastos energéticos así como los impactos sociales y económicos asociados al uso de estos productos. Los biocombustibles comercializados en México deben ser certificados como ambientalmente aceptables usando metodologías como las exigidas por la Unión Europea.

VIII.5.4 Tecnologías

Actualmente hay muchas rutas para convertir la biomasa en materia prima para su uso como energético. En capítulos anteriores se analizaron estas rutas tecnológicas. Los actuales avances tecnológicos han permitido llegar a procesos más eficientes y limpios y varias tecnologías de conversión se han adaptado a la diferente naturaleza física, composición química y requerimientos energéticos de la biomasa además se están actualizando los procesos de pretratamiento de la biomasa para poder densificarla y manejarla fácilmente haciendo más eficiente su transporte, almacenamiento y su uso en los procesos de conversión posterior.

Folio No. 0049

La manera más eficiente y que tiene un mejor uso ya sea como carburante para vehículos automotores o para generación de electricidad es transformar la biomasa en combustible.

El bioetanol y el biodiesel que se utilizan hoy en día en el mundo son combustibles de 1ª generación con limitados o nulos beneficios ambientales y que, en ocasiones, han afectado negativamente a los mercados de alimentos y a los ecosistemas.

Para que los biocombustibles contribuyan positivamente a enfrentar el cambio climático es necesario que su producción sea mucho más eficiente y no conlleve prácticas insustentables en el largo plazo, Los biocombustibles de segunda generación se están desarrollando para alcanzar este objetivo. El obtener biocombustibles a partir de residuos agrícolas y forestales y no de cultivos dedicados, conlleva menos impactos económicos y ambientales pero no es siempre inocuo.

Actualmente siguen en desarrollo los procesos de la próxima generación de biocombustibles (biocombustibles de 2da generación) que dependerán de la biomasa con fines no alimentarios (material lignocelulósico de residuos orgánicos, forestales, etc.). Se espera que esto biocombustibles al utilizar materia prima no alimentaria o residuos disminuyan significativamente los problemas de especulación del precio de los alimentos, el cambio de uso de suelo y el balance energético y cuando los biocombustibles de 2da generación estén disponibles a gran escala los costos podrán descender ofreciendo precios competitivos y beneficios ambientales reales.

La ruta tecnológica para México en biocombustibles de baja intensidad de carbono es por medio de la obtención de biocombustibles de 2da generación.

Para la obtención de etanol la recomendación en primera instancia es la obtención de bioetanol de 1ª generación siempre y cuando garantice su sustentabilidad cumpliendo con lo antes descrito y además utilicen sus desechos ya sea para la generación de electricidad y/o para la obtención de más biocombustible. En cuando la tecnología este en fase comercial se recomienda la utilización de los materiales lignocelulósicos, como son los residuos agrícolas (paja de trigo, bagazo de caña de azúcar, el rastrojo de maíz), los productos forestales (madera dura y blanda), y los cultivos dedicados (*switchgrass*, *salix*) son fuentes de energía renovables. Estas materias primas son muy abundantes y generan niveles bajos de gases de efecto invernadero. Aproximadamente el 90% del peso seco de la mayoría de las plantas se almacena en forma de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina. La presencia de lignina conduce a una barrera protectora que impide la destrucción de las células vegetales por los hongos y las bacterias para su conversión en energía. Para lograr la conversión de la biomasa en combustibles, la celulosa y la hemicelulosa deben de romperse en sus correspondientes monómeros (azúcares), para que los microorganismos puedan utilizarlos.

En el caso del biodiesel es recomendable como primer paso la transesterificación o hidrogenación de aceites vegetales y grasas animales residuales. La transesterificación es un proceso catalítico relativamente sencillo. La hidrogenación tiene un costo menor de producción que la transesterificación y puede utilizar

Folio No. 0050

hidrógeno de una refinería en presencia de un catalizador. Esta tecnología está en fase demostrativa y requiere de la integración con una refinería de petróleo. Como segunda fase y en la próxima década, cuando este desarrollada esta tecnología y se abatan sus costos, será el uso de material lignocelulósico y de algas (3ra generación). La conversión de fuentes abundantes de biomasa lignocelulósica a biocarburantes como combustibles de transporte constituye una opción viable para mejorar la seguridad energética y la reducción de gases de efecto invernadero.

Los biocombustibles para los vehículos desempeñaran un papel importante en el futuro requiriendo pequeñas modificaciones en los motores de vehículos nuevos. Los camiones con motor a diesel pueden utilizar biodiesel con relativa facilidad especialmente si el biodiesel es de alta calidad como es que se obtiene de la gasificación de biomasa o de la licuefacción Fisher-Tropsch. Con respecto a su uso para la generación de electricidad no es más apropiada que su uso en camiones.

VIII.5.5 Legislación Europea

La Directiva 2009/28/CE del parlamento europeo y del consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, indica una cuota del 20% de energías renovables en el consumo de energía en la Unión Europea para el año 2020 (Europea, 2009).

Con respecto a los biocombustibles la cuota de energía en 2020 será como mínimo equivalente al 10% de su consumo final de energía en el transporte. Esta Directiva exige cinco criterios de sostenibilidad para producción de biocombustibles los cuales son:

1. Los biocombustibles en el primer año de la directiva deben ofrecer una reducción mínima de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas por el uso de biocombustibles del 35% y a principios del 2017 dicha reducción será de un 50% como mínimo. A principios de 2018 la reducción de gases de efecto invernadero deberá ser del 60% como mínimo para biocombustibles producidos después del 2017,
2. Los biocombustibles no se producirán a partir de materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad,
3. Los biocombustibles no se obtendrán de materias primas procedentes de tierras con elevadas reservas de carbono,
4. Los biocombustibles no se producirán de materias primas obtenidas de tierras que fueran turberas,
5. Las materias primas agrícolas cultivadas en la Comunidad y utilizadas para la producción de biocombustibles tendrán que cumplir con las disposiciones a los regímenes de ayuda directa a los agricultores y de conformidad con los requisitos mínimos de las buenas condiciones agrarias y medioambientales.

Los biocombustibles de 2da generación únicamente deberán de cumplir con el criterio de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero además de obtener incentivos mediante sistemas de apoyo.

Folio No. 0051

Criterios como los de la unión Europea deben adoptarse para la producción y uso de biocombustibles en México.

Folio No. 0052

FUENTES DE INFORMACIÓN

CENTRO MARIO MOLINA, (2009) Los Biocombustibles en México.

COMISIÓN EUROPEA, (2009) Directiva 2009/28/CE del parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (2009). Balance de energía eléctrica año 2008. www.cfe.gob.mx

CONFEDERACIÓN NACIONAL TURÍSTICA (2008) La industria del hospedaje 2008. IN CENTRO DE INFORMACIÓN Y ESTADÍSTICA PARA EL EMPRESARIO TURÍSTICO (Ed.) *Confederación Nacional Turística,* Ciudad de México.

CONAVI (2008) Inventario de vivienda (2001-2007). Ciudad de México, CONAFOVI.

DE BUEN O. (2009) Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico. IN DTI/0000/PA (Ed.) *DTI/0000/PA.* París, Francia, United Nations Environment Programme - Sustainable Buildings & Climate Initiative.

EILPERIN, JULIET (2009) *G20 Leaders Agree to Phase Out Fossil Fuel Subsidies*. Washington Post September 25, 2009.

GÉRARD, A., GENTER, A., KOHL, T., ROSE, P., RUMMEL, F. (2006) The deep EGS (Enhanced Geothermal System) project at Soulz-sous-Forêts (Alsace, France). 35, 473 – 483.

INEGI (2005) II Conteo de Población y Vivienda 2005 Ciudad de México.

LARA, J. N. (2007) Balance Nacional de Energía 2006. IN 968-874-207-4 (Ed.) Primera edición ed. Ciudad de México, Secretaría de Energía.

MORILLÓN, D. (2008) Escenarios Tecnológicos de Mitigación de Cambio Climático en México para el Sector Residencial: Implicaciones Económicas. Ciudad de México, Centro Mario Molina e Instituto de Ingeniería.

PARTIDA, V. (2008) Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades (2005-2050). IN 970-628-933-X (Ed.) Primera edición ed. Ciudad de México, Consejo Nacional de Población (CONAPO).

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2009) Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012 Versión Preliminar ed. México, Poder Ejecutivo Federal.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, G., DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN SAGARPA (2008) Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico.

SECRETARÍA DE ENERGÍA (2009) Balance Nacional de Energía 2008. Distrito Federal.

SECRETARÍA DE ENERGÍA (2010). Estrategia Nacional de Energía. México.

SENER-PEMEX, S. D. E. Y. P. M. Programa para el uso de Biodiesel en México. México.

TORCELLINI, P. (2006) Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. IN NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, N. (Ed.) *Innovation of our Energy Future.* Pacific Grove, California, US Department of Energy.

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2008) Ley de Promoción y desarrollo de los bioenergéticos. México, D.F.

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2009) Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 PECC.

FUENTES ELECTRÓNICAS

INGENIERÍA DE ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS (2010) “Proyectos” [En línea] Disponible en: http://iacmexico.com/proyectos-energia.php?proyecto=8

INSTITUTE FOR ENERGY TECHNOLOGY (2010) “Success for CO2 storage project” [En línea] Disponible en: http://www.ife.no/ife_news/2009/co2_storage_centre_success_2009/view?set_language=en&cl=en

Presupuesto de Egresos de la Federación 2010. [En línea] Disponible en: www.shcp.gob.mx

SÁNCHEZ SALEH, I. (2009) Rainbow at Eurus Wind Farm México, CDM International Photo Contest 2009. [En línea] Disponible en: http://cdm.unfccc.int/contest/09/winpc09.html

SOLAR-THERMAL.COM (2010) An Industry Report on Solar Thermal Energy. Pasadena, California. [En línea] Disponible en: http://www.solar-thermal.com/major_players.html.

THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY (2009) Ceramic Tech Today. Ohio. [En línea] Disponible en: http://ceramics.org/ceramictechtoday/materials-innovations/71-university-based-nuclear-projects-get-doe-funding/

MEGAWATT STORAGE FARM INC. (2010) The Need for Electricity Storage. [En línea] Disponible en: http://www.megawattsf.com/gridstorage/gridstorage.htm

Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Paseo de los Laureles No 458 Int. 406

Col. Bosques de las Lomas

C.P. 05120

México, D.F.

T: (+55) 9177.1670

F: (+55) 9177.1690

www.centromariomolina.org

Folio No. 0056