

2009

# Modelos Integrales de Economía y Cambio Climático

La ruta de México hacia una economía sustentable de alta  
eficiencia energética y baja intensidad de carbón

1<sup>er</sup> REPORTE

COMPILACIÓN Y  
SÍNTESIS DE  
ESTUDIOS  
SECTORIALES EN  
MATERIA DE  
MITIGACIÓN DE  
CAMBIO CLIMÁTICO  
EN MÉXICO



Folio No. 001

Contrato Número SE-S 03/2009

**Preparado por:**

**CENTRO MARIO MOLINA  
para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.**

**Dr. Mario Molina  
Presidente**

**Ing. Carlos Mena Brito  
Director Ejecutivo**

**M. en C. Rodolfo Lacy Tamayo  
Coordinador de Programas y Proyectos**

**Ing. Graciela Hernández Cano  
Ingeniero de Proyectos**

**Ing. Cristina Eunice López Montiel  
Ingeniero de Proyectos**

## INDÍCE

RESUMEN EJECUTIVO .....	5
1 INTRODUCCIÓN .....	7
2 PROGRAMAS Y ESTUDIOS DE MITIGACIÓN EN MÉXICO.....	10
2.1 Programas y documentos gubernamentales sobre cambio climático.....	11
2.1.1 México tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático .....	11
2.1.2 Cambio climático una visión desde México.....	12
2.1.3 Estrategia nacional de cambio climático (ENACC) México 2007.....	13
2.1.4 Programa especial de cambio climático 2008-2012 (PECC) (borrador) .....	14
2.1.5 Prospectivas del sector eléctrico 2008-2017.....	15
2.1.6 Una visión al 2030 de la utilización de las energías renovables en México.	16
2.2 Organismos no gubernamentales e instituciones mexicanas.....	17
2.2.1 Low-carbon growth. a potential path for Mexico.....	17
2.2.2 Estudios sectoriales de mitigación de cambio climático .....	18
2.2.3 Mexico low-carbon study. México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC) .....	23
2.2.4 La economía del cambio climático en México. Estrategias de mitigación para México.....	24
2.2.5 El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores.....	25
2.2.6 Energías renovables para el desarrollo sustentable en México .....	26
2.2.7 Prospectiva energética para el periodo 2014-2030 del sector energía de México.....	27
2.3 Estudios sectoriales de organismos internacionales.....	29
2.3.1 Perspectivas tecnológicas en energía 2008. Escenarios y estrategias para el 2050 .....	29
2.3.2 OECD environmental outlook to 2030 (prospectiva medioambiental de la OECD para el 2030).....	29
2.3.3 Revolución energética una perspectiva de energía sustentable para México . .....	31
3 POTENCIAL DE MITIGACIÓN IDENTIFICADO EN MÉXICO .....	32
3.1 Curvas de mitigación y costos marginales .....	32
3.1.1 MAC de Quadri.....	32
3.1.2 MAC de McKINSEY.....	33
3.1.3 MAC del MEDEC.....	35
3.1.4 MAC del CENTRO MARIO MOLINA.....	36
3.2 Estrategias. Medidas o proyectos principales, así como los rangos identificados por sectores en nuestro país (tablas).....	37

---

3.2.1	México tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático .....	37
3.2.2	Cambio climático una visión desde México.....	38
3.2.3	Programa especial de cambio climático 2008-2012 (PECC) (borrador) .....	38
3.2.4	Estrategia nacional de cambio climático (ENACC).....	39
3.2.5	Prospectivas del sector eléctrico 2008-2017 .....	40
3.2.6	Prospectivas sobre la utilización de las energías renovables en México una visión al año 2030.....	41
3.2.7	Low-carbon growth. a potential path for Mexico.....	41
3.2.8	Estudios sectoriales de mitigación de cambio climático .....	44
3.2.9	La economía del cambio climático en México. Estrategias de mitigación para México. (datos estimados gráficas).....	46
3.2.10	Mexico low-carbon study. México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC) .....	47
3.2.11	El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores.....	48
3.2.12	Energías renovables para el desarrollo sustentable en México .....	49
3.2.13	Prospectiva energética para el periodo 2014-2030 del sector energía de México.....	50
3.2.14	Perspectivas tecnológicas en energía 2008. Escenarios y estrategias para el 2050 .....	50
3.2.15	OECD environmental outlook to 2030 (prospectiva medioambiental de la OECD para el 2030) .....	51
3.2.16	Revolución energética una perspectiva de energía sustentable para México . .....	52
4	SÍNTESIS .....	53
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento contiene la compilación y síntesis de los principales estudios y documentos oficiales, nacionales o internacionales, aplicables a México en materia de mitigación del cambio climático.

Desde que nuestro país firmó y ratificó el Acuerdo Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, adquirió el compromiso ante la comunidad internacional de realizar inventarios sobre gases de efecto invernadero y estudios y programas que permitieran la reducción de los mismos. Adicionalmente, en la pasada conferencia de las partes celebrada en Póznán (COP-14), el mes de diciembre del 2008, el gobierno Mexicano propuso la meta de reducir las emisiones al 50% de sus emisiones al 2050, en relación con su volumen emitido en el año 2000, con el fin de contribuir a un escenario de estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera terrestre de 450ppm de CO<sub>2</sub>e, compatible con un límite del incremento de la temperatura superficial promedio de 2° C y una convergencia flexible hacia emisiones de 2.6 toneladas de CO<sub>2</sub>e per cápita.

En cumplimiento a este conjunto de objetivos, diversas instituciones y organismos de gobierno y no gubernamentales, así como agencias internacionales, han realizado estimaciones del potencial nacional de reducción de gases de efecto invernadero en los diversos sectores que los generan y han estimado los costos asociados a esta acción.

El Centro Mario Molina identificó 16 documentos o conjunto de documentos realizados en los últimos cuatro años. En éstos, se documentan estrategias, proyectos y posibles acciones que de llevarse a cabo en México podrían reducir 61% de las emisiones de gases de efecto invernadero de nuestro país al año 2030, tomando como punto de referencia las emisiones del año 2000, calculadas en cerca de 644 millones de toneladas anuales. No hay estimaciones precisas al 2050 que pudieran sustentar objetivamente la meta fijada por el gobierno Mexicano.

Del análisis de los documentos compilados se observa lo siguiente:

En México existe un potencial de mitigación cercano a las 400 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> equivalente al año 2030, derivadas principalmente de una mejora en la eficiencia energética de los principales sectores productivos y de servicios del país. El costo marginal promedio por tonelada reducida es del orden de 3 dólares. Este potencial está directamente ligado a beneficios económicos por ahorro de energía pero implica también el logro de una mayor seguridad energética y la obtención de co-beneficios en materia de salud pública y protección a los ecosistemas.

Las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero propuestas al sector energético permitirían incrementar la eficiencia del sector, su rentabilidad económica, su competitividad global y su nivel tecnológico. En el largo plazo, la mayor parte de los documentos analizados coinciden que las estrategias a aplicar en el sector energía tendrían que sustentarse en una economía global donde la tonelada de carbono emitida tuviera un costo asociado, de lo contrario, habría

desajustes regionales en el precio de los productos que crearían desventajas comerciales para los países menos emisores, particularmente para México.

Los estudios sectoriales con metodologías “*bottom-up*” son los idóneos para identificar las posibilidades tecnológicas y económicas de reducción de gases de efecto invernadero en nuestro país. En México, se han realizado este tipo de estudios sólo para los sectores de electricidad, petróleo y gas, cemento, siderúrgica, celulosa y papel, azúcar, transporte, residuos, vivienda de interés social y sector forestal.

De acuerdo con las categorías manejadas por el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI 2006), los sectores emisores ligados al sector energía que requieren de estudios específicos de mitigación son: la industria química y petroquímica, la industria de la construcción, minería, industria automotriz y de autopartes, la agroindustria, el sector primario (agrícola, pecuario y pesquero) y el sector terciario (turismo, telecomunicaciones y comercio), principalmente

## 1 INTRODUCCIÓN

El fenómeno del cambio climático tiene su origen principal en el uso y aprovechamiento que las sociedades modernas hacen de la energía proveniente de los combustibles fósiles. Si bien el descubrimiento y explotación del carbón, el petróleo y el gas natural ha permitido a la humanidad llegar al grado de desarrollo social y tecnológico que actualmente existe este proceso ha repercutido severamente en el medio ambiente y en la salud pública.

Más aún, el cambio climático se presenta como un riesgo muy serio en el intento de reducir la pobreza en el mundo y amenaza con impedir el desarrollo social y económico de las naciones.

Ante esta situación, México firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992, misma que ratificó en 1993. De igual forma, en el 2002 ratificó el Protocolo de Kioto en el que los países desarrollados y las economías en transición se comprometieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un promedio de 5.2% con respecto a 1990 para el periodo de compromiso 2008-2012. Aplicando el principio de responsabilidad compartida pero obligaciones diferenciadas, México no adoptó metas cuantitativas de reducción de gases de efecto invernadero haciendo valer la condición económica del país y los rezagos en materia de justicia social, que requieren de un uso mayor de energía para sacar de la pobreza a más de la mitad de los casi 105 millones de mexicanos.

De acuerdo a diversas estimaciones de organismos y agencias internacionales, México contribuye con el 1.5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero como resultado de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento. Nuestro país se encuentra entre las quince naciones que más contribuyen y han contribuido al cambio climático.

A nivel per cápita, en el año 2006 se emitieron 3.9 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por quema de combustibles fósiles, siendo 2.6 el objetivo del Milenio, establecido por la Organización de las Naciones Unidas, suscrito también por el gobierno Mexicano.

En términos generales, el desperdicio energético derivado de malas prácticas y hábitos productivos y domésticos, la obsolescencia tecnológica en muchos sectores de la economía, la falta de integración energética industrial, la deficiente planeación urbano-industrial y los procesos incontrolados de deforestación, son las causas estructurales y fundamentales de la emisión de gases de efecto invernadero. Como país petrolero, México transitó durante la segunda mitad del siglo pasado con una abundancia energética real en términos de disponibilidad, pero con un sistema con pocos incentivos para el ahorro, la eficiencia y el cuidado del medio ambiente.

De acuerdo con datos preliminares del Programa Especial de Cambio Climático (PECC), la intensidad de carbono de la economía mexicana es de 2.3 toneladas de CO<sub>2</sub> por toneladas de petróleo equivalente (tpe), muy cercana al promedio mundial de 2.5

tCO<sub>2</sub>/tpe<sup>1</sup>. La *intensidad de carbono* medida como la relación entre las emisiones de gases de efecto invernadero y el Producto Interno Bruto es de 350 gramos de CO<sub>2</sub> por cada dólar generado, valor que está a la mitad de lo que genera Estados Unidos.

Desde que nuestro país firmó y ratificó el Acuerdo Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, adquirió el compromiso ante la comunidad internacional de realizar inventarios sobre gases de efecto invernadero y estudios y programas que permitieran la reducción de los mismos. Adicionalmente, en la pasada conferencia de las partes celebrada en Póznán (COP-14), el mes de diciembre del 2008, el gobierno Mexicano anunció una meta aspiracional de reducir 50% sus emisiones al 2050, en relación con su volumen emitido en el año 2000 (643.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e), con el fin de contribuir a un escenario de estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera terrestre de 450ppm de CO<sub>2</sub>e, compatible con un límite del incremento de la temperatura superficial promedio de 2° C y una convergencia flexible hacia emisiones de 2.6 toneladas de CO<sub>2</sub>e per cápita.

El borrador existente del Inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero (INEGEI-2006) indica que nuestro país estaba generando hace dos años cerca de 715 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, distribuidas de la siguiente forma:

INEGEI 2006  
 (datos preliminares)

CATEGORÍA		MtCO <sub>2</sub> e	%
GENERACIÓN DE ENERGÍA		196.6	27.5
	Petróleo y gas	84.1	11.8
	Electricidad	112.5	15.7
USO DE LA ENERGÍA		221.6	30.9
	Transporte	144.6	20.2
	Sector Residencial, Comercial y Municipios	20.2	2.8
	Industria	56.8	7.9
AGRICULTURA, BOSQUES Y OTROS USOS DEL SUELO		131.6	18.4
	Agricultura y ganadería	42.6	5.9
	Bosques	89.0	12.5
DESECHOS		100.4	14.0
	Disposición de residuos sólidos urbanos	54.0	7.5
	Descargas y tratamiento de aguas residuales	46.4	6.5
OTROS		65.10	9.2
<b>TOTAL</b>		<b>715.3</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup>Indicador del contenido de carbono por unidad energética utilizada, expresada aquí en tpe, o *toneladas de petróleo equivalente*. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) version 6.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2008) <http://cait.wri.org>



Según el PECC, las emisiones de GEI “tendrían que alcanzar un punto de inflexión antes del 2012, para después descender paulatinamente hasta alcanzar el nivel indicado en 2050: 321.8MtCO<sub>2</sub>e”. Ante este objetivo y el hecho de que la generación y uso de la energía generan el 58.4% de los GEI, México requiere de una profunda transformación del sector energético que involucre no solamente al gobierno federal, desde donde el estado monopoliza los combustibles fósiles y la electricidad, sino también al sector privado industrial y de servicios, así como a los gobiernos locales y la población en lo general.

Estimar el potencial real de reducción de GEI en México requiere de estudios de mitigación sectoriales que identifiquen acciones específicas de cambio, que pueden derivarse de un número muy grande de estrategias de ahorro de energía, eficientización de procesos productivos, introducción de nuevas tecnologías, uso de fuentes de energía renovables, cogeneración e integración energética industrial, control de fugas, instalación de sistemas inteligentes de logística y distribución de electricidad y combustibles, entre muchas otras.

Para ello, el gobierno mexicano solicitó, a través de las secretarías de Energía y Medio Ambiente y Recursos Naturales, a instituciones académicas, organismos internacionales y organizaciones no gubernamentales la realización de estudios sectoriales y estudios macroeconómicos, que permitieran obtener datos confiables sobre los compromisos que el país podría adquirir, en el marco las negociaciones sobre el nuevo período de compromisos del Protocolo de Kyoto, post-2012. El Centro Mario Molina identificó 16 documentos o conjunto de documentos realizados en los últimos cuatro años, los cuales se sintetizan y analizan a continuación.

## 2 PROGRAMAS Y ESTUDIOS DE MITIGACIÓN EN MÉXICO

El Centro Mario Molina identificó 16 documentos o conjunto de documentos realizados en los últimos cuatro años, los cuales se enlistan en la siguiente tabla:

Título	Autor	Año de publicación	Cobertura
<b>Programas y documentos gubernamentales sobre cambio climático</b>			
México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	INE-SEMARNAT (capítulo V)	2006	2030
Cambio Climático una visión desde México	SEMARNAT/INE (Sección IV: Mitigación. Omar Masera y Claudia Sheinbaum)	2004	2010
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC)	Comisión intersecretarial de cambio climático	2007	2014
Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012 (PECC) (Borrador)		2009	2050
Prospectivas del Sector Eléctrico 2008-2017	Dirección General de Planeación Energética. SENER	2008	2017
Una visión al 2030 de la utilización de las energías renovables en México	Pablo Mulás (UAM)	2005	2030
<b>Organismos no gubernamentales e instituciones mexicanas</b>			
Low-Carbon Growth. A Potential Path for Mexico	McKINSEY	2008	2030
Estudios sectoriales de mitigación de cambio climático (8 estudios)	Centro Mario Molina	2008	2030
Mexico low-carbon study. México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC)	Todd M. Johnson, Feng Liu, Claudio Alatorre y Zayra Romo	2008	2030
La economía del cambio climático en México. Estrategias de mitigación para México	Dr. Luis Miguel Galindo (UNAM)	2008	2100
El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores	Gabriel Quadri de la Torre	2008	2020
Energías renovables para el desarrollo sustentable en México	GTZ-SENER	2006	2030
Prospectiva energética para el período 2014-2030 del sector energía de México.	Gerardo Bazán (Programa..	2005	2030
Perspectivas del medio ambiente en México. GEO México 2004	PNUMA/SEMARNAT	2004	2030
<b>Estudios sectoriales de organismos internacionales</b>			
Perspectivas tecnológicas en energía 2008. Escenarios y estrategias para el 2050	IEA	2008	2050
OECD Environmental Outlook to 2030.	OECD	2008	2030
Revolución energética una perspectiva de energía sustentable para México.	Greenpeace/EREC	2008	2050
International Energy Outlook 2008	IEA	2008	2030

En los próximos apartados se presenta una síntesis del contenido y enfoque de cada uno de estos estudios.

## 2.1 Programas y documentos gubernamentales sobre cambio climático

### 2.1.1 México tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático

Documento elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto de Ecología (INE). Para dar cumplimiento a los compromisos asumidos por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), este documento pretende ser un instrumento para fijar las políticas y estrategias nacionales en materia de cambio climático.

Su información proviene de instituciones gubernamentales, académicas y de investigación (sector privado y organizaciones no gubernamentales) además de la colaboración de científicos y técnicos que participaron en los grupos de trabajo para la elaboración del 4to Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Este documento presenta la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) al 2002, dando como resultado que existe un crecimiento anual promedio en los sectores (con excepción de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS), de 2.2% de las emisiones de CO<sub>2e</sub>. La contribución por sector en términos de CO<sub>2e</sub> es 61% energía, 14% USCUSS, 10% desechos, 8% industriales y 7% agricultura.

Con respecto a mitigación presenta proyección de emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) de los sectores energía para los años 2008, 2012 y 2030, tomando como base el INEGEI 2002. Los sectores considerados por demanda de energía fueron el industrial, manufactura, construcción, transporte y dentro de otros sectores están el residencial, comercial, público y agropecuario así como la generación de electricidad y las emisiones fugitivas de la industria petrolera, del gas natural y del carbón.

Para la elaboración de la línea base y dos escenarios alternos utilizaron el modelo LEAP<sup>2</sup>. El escenario base indica que la energía primaria se duplicara durante el período de análisis (2002 al 2030).

Concluye que se pueden reducir 17% de las emisiones de GEI con respecto al escenario base aumentando la participación en el sector electricidad de los renovables en 29.5% y de la nuclear en 12%, aplicando normas de eficiencia energética en vehículos particulares y comerciales a gasolina, mayor participación de los vehículos a diesel e implementando medidas de ahorro impulsadas por la CONAE.

---

<sup>2</sup> (Long-range Energy Alternative Planning System), que es una plataforma computacional que relaciona el consumo de energía con las emisiones de GEI en diferentes sectores consumidores de energía

## 2.1.2 Cambio climático una visión desde México

Estudio realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología, tiene como fin abordar aspectos científicos, sociales, económicos e institucionales del cambio climático, desde la teoría del cambio climático hasta la ratificación del Protocolo de Kyoto, incluyendo estudios realizados en México. Los autores sitúan a nuestro país como emisor de GEI en el contexto mundial; analizan la vulnerabilidad de diferentes sectores; evalúan opciones de mitigación y adaptación al cambio climático; describen negociaciones internacionales y abordan los aspectos educacionales y de comunicación al público sobre el tema.

En materia de mitigación de emisiones de carbono, desarrollaron un modelo "de abajo hacia arriba" (bottom-up) en los institutos de Ingeniería y de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para el cálculo y la simulación integrada de los sectores energético y forestal de México. El modelo consta de tres secciones básicas: a) la simulación del sistema energético mexicano y sus emisiones asociadas de GEI; b) la simulación de las emisiones de las opciones forestales y la captura de carbono, y c) el módulo financiero: estimación de costos de mitigación de CO<sub>2</sub> y curva de costos incrementales.

Trabajaron con un escenario base que, en el sector energético considera un crecimiento económico medio del PIB, proyecciones oficiales del crecimiento poblacional, intensidades constantes a su nivel de 1994, ninguna sustitución de combustibles, y expansión de la capacidad instalada del sector eléctrico basado en plantas con combustóleo. Para el sector forestal consideran tasas netas de deforestación, con el propósito de comparar, las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron calculadas para diferentes escenarios del PIB.

En la elaboración de su escenario de mitigación consideran periodos específicos de penetración de las tecnologías de mitigación por sector, debido a que analizaron un conjunto limitado de opciones, afirman que los resultados presentados no deben ser percibidos como el potencial máximo o total de mitigación de carbono para México, ya que las restricciones en la disponibilidad de datos no permitieron realizar un análisis profundo del sector transporte.

En su escenario base manejan tres diferentes valores de la tasa de crecimiento del PIB (1990-2010), teniendo como resultado para el 2010; en el escenario bajo (PIB 2.5%) 805.6 MtCO<sub>2</sub>, para el medio (PIB 4.5%) 878.9 MtCO<sub>2</sub> y para el alto (PIB 6.0%) 960.3 MtCO<sub>2</sub>. Para el escenario de mitigación, y eligiendo como escenario base la proyección al 2.5% PIB, la emisiones de CO<sub>2</sub> serían de 530.6 MtCO<sub>2</sub>.

Con la elaboración de su estudio concluyen que con la instrumentación adecuada de una serie de opciones de mitigación prometedoras en el sector energético y forestal, México tiene la oportunidad de avanzar significativamente en las prioridades nacionales de desarrollo para el periodo 1995-2010, y de mantener bajas las emisiones de carbono per cápita y con un pequeñísimo incremento en las emisiones totales. El documento establece que, gran cantidad de carbono que puede ser potencialmente capturado por las opciones forestales, le da a México la oportunidad de ganar tiempo para el desarrollo a fondo de energías renovables.

### 2.1.3 Estrategia nacional de cambio climático (ENACC) México 2007

Reflejando el compromiso del Ejecutivo Federal en relación con la mitigación del cambio climático y la adaptación a los efectos adversos del mismo, la ENACC identifica medidas, precisa posibilidades y rangos de reducción de emisiones, propone estudios necesarios para definir metas más precisas de mitigación y esboza las necesidades del país para avanzar en la construcción de capacidades de adaptación. Contribuye así mismo a identificar oportunidades de reducción de emisiones y desarrollar proyectos de mitigación, reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación, y proponer líneas de acción, políticas y estrategias, que sirvan de base para la elaboración de un Programa Especial de Cambio Climático que se inscribiría en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

Su objetivo general planteado en lo que respecta a mitigación, consiste en desacoplar el incremento de las emisiones del crecimiento económico, reduciendo las emisiones de GEI, mediante patrones de generación y consumo de energía cada vez más eficientes y que dependan menos de la quema de combustibles fósiles.

La ENACC identifica oportunidades sectoriales y acciones específicas en materia de mitigación en dos grandes áreas: Generación y Uso de Energía, y Vegetación y Uso de Suelo, cabe destacar que en todos los casos precisan las metas de reducción en el marco de la ulterior elaboración del Programa Especial de Cambio Climático.

Dentro de las oportunidades de mitigación de emisiones de GEI al 2014, en la Generación y Uso de Energía, se puede enunciar el Sector Industrial, que presenta una reducción estimada mayor a 25 MtCO<sub>2</sub>e/año con la propuesta que implica aprovechar el potencial de cogeneración de la industria cementera, siderúrgica, azucarera y otras.

La ENACC contempla; conservación, captura y sustitución de carbono, como acciones para conservar carbono forestal y reducir las emisiones de GEI producidas por las actividades vinculadas con uso del suelo, cambio del uso del suelo, silvicultura, agricultura y ganadería.

Las oportunidades de conservación de carbono forestal al 2012, incluyen el Desarrollo Forestal Sustentable en un intervalo de conservación de carbono de 6,000-12,000 MtCO<sub>2</sub>, y Sanidad Forestal con 1,800-3,000 MtCO<sub>2</sub>, entre otros. Algunas de las oportunidades de mitigación de emisiones de GEI al 2012 en Vegetación y Uso del Suelo, que enlista la ENACC son: reforestación y recuperación de terrenos forestales con captura de carbono de 10-20 MtCO<sub>2</sub>e, biocombustibles forestales con una reducción estimada de 2.5 MtCO<sub>2</sub>e/año, captura de carbono por reconversión productiva que reduciría en 4.2 MtCO<sub>2</sub>e/año y captura de carbono en tierras de pastoreo con 4.6 MtCO<sub>2</sub>e/año, entre otras.

#### 2.1.4 Programa especial de cambio climático 2008-2012 (PECC) (borrador)

El informe establece que la meta aspiracional de reducción de emisiones en el largo plazo, que contempla este programa, constituye un reto inmenso y en este Programa Especial se apuntan los niveles de reducción que corresponderían a cada una de las fuentes emisoras claves respecto del escenario tendencial. La posición de México como país de desarrollo intermedio y miembro de la OCDE debe aprovecharse para adoptar opciones de desarrollo sustentable, un desarrollo basado en tecnologías limpias y bajas en carbono.

La línea base de emisiones de México, o escenario tendencial, que establece el PECC, para los años 2000, 2006 y 2012, se construye con base en datos del INEGI y de la prospectiva 2008 – 2017 del sector eléctrico. Para los años 2020, 2030 y 2050, la línea base asume que México mantendrá un ritmo de crecimiento, y de evolución de la distribución sectorial de sus emisiones, congruente con el escenario tendencial promedio global que indica la OCDE.

Por su parte, la trayectoria de mitigación para que México reduzca a la mitad sus emisiones en 2050 integra, al 2012 las metas de este Programa Especial y, para el periodo posterior, es congruente con el ritmo promedio global de decrecimiento que suponen las proyecciones de la OCDE, en la trayectoria hacia una eventual estabilización de las concentraciones de GEI a 450ppm en 2050.

El escenario de mitigación que asume el PECC, prevé que la reducción de emisiones durante el periodo comprendido entre 2008 y 2012 marcará el inicio del proceso nacional de descarbonización y de una trayectoria que se separe de la línea base, o modifique el escenario tendencial. La distribución de las cargas de reducción entre los diferentes sectores para los años 2020, 2030 y 2050, será desigual, dependiendo de la actual intensidad de carbono de cada uno de ellos.

Para lograr estas metas de reducción en la intensidad energética y la descarbonización de la economía mexicana, se requiere maximizar la eficiencia en el uso de la energía, minimizar emisiones fugitivas, intensificar el uso masivo de tecnologías de generación eléctrica bajas o neutras en carbono (renovables, nuclear, así como desarrollar la captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>), minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> por USCUS y reducir significativamente las emisiones de otros GEI en actividades industriales, agropecuarias y manejo de desechos.

El esfuerzo de mitigación de México, respecto del escenario tendencial, se orienta hacia la reducción de alrededor de 400 MtCO<sub>2</sub>e/año en 2030 y hasta de 765 MtCO<sub>2</sub>e/año en 2050. Este nivel de esfuerzo es comparable al documentado en otros estudios de mitigación realizados para México, con rangos de reducción entre 465 y 535 MtCO<sub>2</sub>e/año en 2030 y del orden de 830 MtCO<sub>2</sub>e en 2050, que tendrían costos estimados de inversión, al 2030, que fluctúan entre 18 y 36 mil millones de dólares.

### 2.1.5 Prospectivas del sector eléctrico 2008-2017

Documento elaborado anualmente por la Secretaría de Energía (SENER). Cumpliendo así con lo que establece el Artículo 69 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Este documento da una perspectiva internacional, la evolución histórica nacional y las prospectivas esperadas de demanda y capacidad para el período de 2008 al 2017.

Indica que en el año 2007 el consumo de energía eléctrica en México fue de 230,638 GWh, lo que significó un aumento del 3.1% con respecto al año anterior, con una tasa de crecimiento anual de 3.9% en el período 1997 al 2007, proporcionando servicio a más de 31 millones de usuarios. La capacidad total nacional instalada para la generación de energía eléctrica a finales de diciembre del 2007 fue de 59,008 MW.

Con respecto a las prospectivas estas indican que en el período de estudio tendrá un crecimiento anual de 3.3% llegando a 281.5 TWh en 2017. Para poder realizar el análisis del consumo de energía eléctrica sectorial lo desagrega en industrial, residencial, comercial, servicios y bombeo agrícola.

Entre las consideraciones para la planeación del sistema eléctrico nacional (SEN) esta la diversificación de fuentes de generación, orientándose hacia la entrada de las energías renovables. Estas prospectivas toman en cuenta el programa de expansión del SEN, el cual es conformado por la planeación del servicio público que incluye CFE y LFC y autoabastecimiento y cogeneración.

Entre los programas considerados está la aplicación efectiva de las normas de eficiencia energética, (con las cuales se esperan ahorros acumulados de 30,937 GWh en el consumo y 6,158 en capacidad diferida), el horario de verano, reducción del consumo de energía eléctrica en los edificios de la administración pública federal (APF), el programa de ahorro de energía del sector eléctrico (PAESE), (con el cual se esperan ahorros al 2017 de 200 GWh en consumo y 53 MW en demanda), el Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica (FIDE), (con el cual se esperan ahorros acumulados de 44,362 GWh).

Para proyectar los consumos y demanda esperada en los próximos 10 años, se basan en supuestos macroeconómicos, la evolución histórica del sector eléctrico y en estimaciones basadas en modelos econométricos sectoriales además CFE utiliza estudios regionales, el escenario de la prospectiva considera un crecimiento del PIB de 2.0% anual para 2008, 1.8% para el 2009 y 2.3% para el resto del período de estudio.

Concluye que el ahorro de energía en el sector eléctrico para el año 2017, será de 36,100 GWh en consumo y 6,211 MW de capacidad diferida.



## 2.1.6 Una visión al 2030 de la utilización de las energías renovables en México

Proyecto elaborado para la SENER y el Banco Mundial en el año 2005, el objetivo de este documento es dar una visión de la participación de las energías renovables en escenarios de mediano (10 años) y largo plazo (25 años). Su base fundamental son el balance nacional de energía y las prospectivas 2004-2013 del sector eléctrico de la SENER.

Este documento estima el potencial de recursos renovables en México y su prospectiva tecnológica. Realiza una comparación con dos estudios internacionales de prospectivas para México.

Utiliza el sistema LEAP<sup>2</sup>, para la realización de los dos escenarios base, no cambiando la composición de la canasta básica descrita por SENER y dando una tasa media de crecimiento anual (tmca) del PIB de 2.5% y 4.5%, utilizando los bancos de datos de la AIE<sup>3</sup>/OECD.

Para la realización de los escenarios alternos utilizó las prospectivas 2004-2013 y posteriormente supone una tmca de intensidad energética de -1.5% al año 2030, obteniendo así la demanda de energéticos primarios. Con esta metodología desarrolla escenarios de baja y alta penetración obteniendo la demanda interna y la generación eléctrica. Posteriormente compara sus escenarios contra los escenarios presentados en el International Energy Outlook<sup>4</sup> y en el World Energy Outlook<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> IEA: International Energy Agency

<sup>4</sup> International Energy Outlook (IEO-2004), de la Energy Information Agency, Department of Energy, EUA (global y México al año 2025)

<sup>5</sup> World Energy Outlook (WEO-2004) de la IEA y OCDE (global y México al año 2030)



## 2.2 Organismos no gubernamentales e instituciones mexicanas

### 2.2.1 Low-carbon growth. a potential path for Mexico

Documento elaborado por McKinsey a finales del 2008, donde obtiene que México puede reducir 990 Mt de CO<sub>2e</sub> por año para el 2030.

En este documento se proponen y analizan 144 opciones de mitigación de GEI, para los sectores de energía, transporte, petróleo y gas, otras industrias, edificaciones, residuos, agricultura y forestal.

El modelo macroeconómico utilizado en este documento es uno modelo de evaluación integrada (IAM) llamado E3MG desarrollado por la Universidad de Cambridge. Este modelo captura las interacciones regionales y sectoriales entre la actividad económica, la demanda de energía y las emisiones de GEI, el nivel de detalle de este modelo para México es mayor que el de otros IAM's.

Los costos de reducción se definen como el costo incremental de una tecnología de bajas emisiones en comparación con el caso de referencia, medida en US\$ por tonelada de CO<sub>2e</sub> reducida. Los costos de reducción anualizados incluyen reembolso de capital y gastos de funcionamiento por lo tanto el costo representa únicamente "el costo del proyecto" para instalar y operar la estrategia de baja emisión. La disponibilidad de capital no se considera como obstáculo.

México puede actualmente adquirir tecnología con bajo contenido de carbono y no readaptar, lo cual es más costoso, además si México actúa antes este tendrá un papel de liderazgo en los esfuerzos internacionales para hacer frente al cambio climático.

Concluye que por usar tecnologías existentes y casi comerciales México alcanza su máxima reducción en el año 2015 llegando a reducir un 25% de sus emisiones al año 2030 comparadas con las emisiones del año 2005 (esto es 54% menos si no se llevara a cabo ninguna estrategia), estas reducciones se lograran si se cambia hacia energías renovables en el sector energía, hacer más eficiente el transporte, aumentar el reciclaje, cambiar las practicas agrícolas, preservar y ampliar los bosques y mejorar la eficiencia energética en la industria, edificios y hogares.

Estas reducciones se pueden hacer con un aumento aproximado del 3% del capital de inversión entre 2007 y el 2030 siempre y cuando México siga creciendo a más del 3.5% su producto interno bruto.

Además de las reducciones de GEI se tendrán co-beneficios incluyendo seguridad y diversidad energética, aumento de la competitividad empresarial, oportunidades de innovación y beneficios a la salud.

## 2.2.2 Estudios sectoriales de mitigación de cambio climático

Serie de documentos elaborados por el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM), enfocados a las Estrategias de Mitigación de gases de efecto invernadero en los sectores azúcar, celulosa y papel, cemento, electricidad, petróleo y gas y siderurgia.

Con el propósito de definir las acciones que contendrá el programa especial del gobierno federal sobre Cambio Climático en el período 2008-2012, la SEMARNAT solicitó a la UNAM que coordine un estudio interdisciplinario y multi-institucional denominado “Evaluación de las Consecuencias Económicas del Cambio Climático en México”. Este estudio tiene apoyo de diversos organismos e instituciones financieras y en él participarán múltiples investigadores y grupos de investigación con antecedentes en el tema, entre los que se destaca el Centro Mario Molina.

Esta serie de documentos realizan un análisis económico de 38 opciones propuestas de mitigación y adaptación que tiene los diferentes sectores analizados en México al año 2030, en relación al costo de los impactos y riesgos ambientales que implicará el cambio climático en nuestro país. La aplicación de las opciones de mitigación reducirá 34.6% las emisiones con respecto a las emisiones tendenciales en el año 2030, siendo el sector transporte el mayor emisor de GEI.

Así, este documento representa un paso significativo en la protección y mejora de la calidad del aire y el clima, donde el CMM propone soluciones a problemas relacionados con la generación y el consumo de energía adoptando un enfoque multidisciplinario y una visión de largo plazo. Asimismo, toma en cuenta aspectos sociales, económicos, científicos y tecnológicos relevantes. De esta forma, contribuye con propuestas prácticas a los múltiples desafíos que plantea el desarrollo energético sustentable.

### 2.2.2.1 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la industria azucarera

Este documento propone tres opciones para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera en la industria azucarera.

Para obtener la línea base se tomaron en cuenta los datos históricos reportados entre 1990 al 2008 por la Unión Nacional de Cañeros, la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica, el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) y el Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera (SIAZUCAR) de SAGARPA. La prospectiva de azúcar parte de producción histórica y las metas que establece PRONAC para el año 2012 donde se producirá poco más de 6 Mt de azúcar.

Las medidas propuestas en este sector son aumento en la eficiencia del proceso, autoabastecimiento eléctrico e incremento de eficiencia térmica en calderas, estas medidas reducirán 3.9Mt de CO<sub>2</sub>e para el año 2030, favoreciendo así la reducción en los costos de producción.

Al aplicar las tres opciones de mitigación se puede llegar a reducir el 22% con respecto a las emisiones tendenciales. El escenario base estima que de no llevarse a cabo ninguna opción de mitigación el sector puede llegar a emitir 17.45 Mt de CO<sub>2</sub>e en el año 2030. La

medida que ofrece una mayor reducción de emisiones es aumento en la eficiencia de proceso.

#### 2.2.2.2 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector papel y celulosa

Este documento propone tres opciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera en el sector papel y celulosa, las medidas son sustitución de combustóleo por gas natural, plantaciones forestales comerciales e incremento del índice de recolección de papel.

Si se tomaran como antecedente el comportamiento histórica de este sector para realizar una prospectiva el análisis resultaría en que el sector colapsaría antes del año 2030 desapareciendo primero los fabricantes de celulosa y posteriormente los de papel. Para la realización de la línea base se toma en cuenta lo plantado por la Cámara del Papel en su agenda estratégica.

Al aplicar las tres opciones de mitigación se reducen 31.5 MtCO<sub>2</sub> en el año 2030. Esto se debe principalmente a la captura natural de carbono que se llevara a cabo en las plantaciones comerciales ya que se consideran como sumideros de carbono.

La estimación de costos de las opciones propuestas parten de la línea base pero a precios actuales, el precio de los combustibles, de la madera utilizada para producir celulosa y el del papel reciclado. Los costos de mitigación se calculan para el período 2009-2030 al igual que las reducciones de cada opción propuesta.

#### 2.2.2.3 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector cemento

Este documento es un informe que presenta acciones que puede emprender el sector del cemento para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y convertirlo en una división industrial más eficiente.

La información en la que se basa proviene de la Cámara Nacional del Cemento y de instancias gubernamentales, como la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para estimar las emisiones de GEI del sector al año 2030, se calculo primero, con base en datos históricos oficiales de la producción de cemento gris reportada por SEMARNAT y CANACEM, la producción de cemento al año 2030 y posteriormente se calcularon las emisiones directas e indirectas a partir de datos históricos de sus consumos de energía reportados por la SENER, y con la metodología propuesta por el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en su iniciativa de cemento denominada *Cement Sustainability Initiative (CSI)*. Para la energía eléctrica el factor de emisión se obtuvo del análisis sectorial para el sector eléctrico realizado por el Centro Mario Molina.

Este trabajo describe las emisiones generadas por sus procesos y procedimientos para poder encontrar soluciones de mitigación. Se enfoca principalmente en la búsqueda de eficiencias energéticas, cambios en los combustibles o desarrollo de sustitutos de clínker en la fabricación que permitan reducir las emisiones de GEI a la atmósfera, así como evaluar su costo-beneficio. Se proponen cuatro estrategias de mitigación con un potencial

de reducción de 17.2 Mt de CO<sub>2</sub>, lo que representa el 36% de las emisiones tendenciales del sector.

El cálculo de los costos por introducir nuevas tecnologías en la industria cementera para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>e se hizo de forma indirecta. Los costos de reducción que se presentan en el documento son a nivel nacional y no son específicos para cada empresa. Los costos de mitigación y de las emisiones abarcan el período 2000 al 2030. Los costos totales de todas las opciones de mitigación se obtuvieron a partir del valor presente neto (VPN).

#### 2.2.2.4 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico

Informe que presenta información sobre el Sector Eléctrico Mexicano en relación con su situación actual en términos de capacidad instalada, tipo de generación, combustibles utilizados, consumos, ventas, participación por tecnología, crecimiento, planeación, capacidad de transmisión así como desarrollo sustentable y medio ambiente.

La propuesta para la mitigación de emisiones de GEI, de este documento, debe considerar ciertos factores, tales como: la participación actual de las diversas tecnologías y sus particularidades de generación, la planeación existente del sector para la producción de energía en el periodo 2008-2030, la madurez de cada una de las tecnologías que participan en la generación actual y futura y el potencial de expansión de cada una de las tecnologías desde el punto de vista de emplazamiento e infraestructura requerida.

Las estrategias que establece el estudio, cubren la parte de generación para mejorar su eficiencia y costos de generación, y lograr una reducción en las emisiones de GEI, éstas son: incrementar el alcance de Programa de Ahorro de Energía en Edificios tanto públicos como privados, sustitución de iluminación convencional por iluminación ahorradora de energía, continuidad en la aplicación del horario de verano, mejorar la eficiencia de las plantas que están operando considerando las mejoras en las centrales existentes tales como cambio de equipos y/o sustitución de combustible, considerar de manera prioritaria las opciones energéticas de cero o menor emisión de GEI y considerar en una primera etapa aquellas tecnologías que son conocidas y maduras para el Sector, a fin de plantear un escenario agresivo pero realista y en una segunda etapa las nuevas tecnologías que se requieran para satisfacer las necesidades de energía eléctrica.

En materia de costos, el informe concluye que, la reducción de emisiones por incremento en las eficiencias de generación y transmisión tiene costos marginales muy negativos debido a que no se requieren grandes inversiones en bienes de capital para lograrla.

Las tecnologías basadas en geotermia y nuclear tienen costos marginales negativos. A primera vista esto puede parecer sorprendente, más si se observan los Costos Nivelados de Generación, actualmente algunas tecnologías que no emiten gases de efecto invernadero presentan costo inferiores a los de diferentes tecnologías de generación que queman combustibles fósiles.

En los costos marginales presentados no se consideraron los costos de respaldo de tecnologías intermitentes como eólica y solar, ni tampoco se consideró la disminución de costos resultantes de la maduración y aprendizaje de la tecnología a través del tiempo.

### 2.2.2.5 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector petróleo y gas

Establece las emisiones reales y proyectadas de CO<sub>2</sub>e por año de el Sector Petróleo y Gas desde 1997 hasta el 2030 (línea base), además, investigó en el sistema de información energética de SENER y con información del propio PEMEX, determinaron cuál ha sido la producción histórica de petróleo crudo desde 1997 hasta septiembre del 2008.

Considerando que la oferta de petróleo crudo no depende en forma directa del PIB nacional y sí de las políticas de desarrollo de la infraestructura de exploración y explotación de los yacimientos petroleros nacionales, se consideró que el incremento de producción logrado en los últimos años por PEMEX se mantendría a la misma tasa de crecimiento medio de los últimos años.

Del 2008 al 2017, la SENER y PEMEX consideraron una tasa de crecimiento medio anual de 0.8 %. Debido a que no se prevé ningún cambio significativo en las condiciones actuales del comportamiento de PEMEX y de los yacimientos en explotación y por explotar, se consideró conveniente conservar para el periodo 2018-2030 la misma tasa de crecimiento establecidas por SENER y PEMEX de 0.8% anual. Se relaciona también el consumo de energía que la actividad de producción de petróleo conlleva, así como la emisión de las toneladas de CO<sub>2</sub>e.

El informe identificó las siguientes áreas de oportunidad para mitigar la emisión de GEI en las operaciones del sector petróleo y gas: instalación de plantas de alta eficiencia para la generación conjunta de electricidad y vapor (cogeneración), reducir el venteo a la atmósfera y reducir la quema de gas natural en las plataformas marinas, optimizar el sistema de generación de vapor (calderas) que se utiliza en los procesos de transformación de Petróleos Mexicanos, cambiar los sellos húmedos que tienen los compresores de gas instalados en los Centros Procesadores de Gas para eliminar las fugas de gas natural (metano) a la atmósfera e incrementar la eficiencia energética de las refinerías.

El total de la reducción potencial de emisión de GEI de las estrategias analizadas en el estudio, al año 2030 es de 18.9 Mt de CO<sub>2</sub>e, lo que permitirá reducir las emisiones en un 39% en el año 2030 al pasar de 48.4 Mt de CO<sub>2</sub>e a 29.4 Mt de CO<sub>2</sub>e.

### 2.2.2.6 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector siderúrgico

La información de este documento proviene de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO) y de contacto directo con las empresas más importantes del sector siderurgia en el país y además de instancias gubernamentales.

El cálculo de las emisiones de GEI fue realizado de acuerdo a la metodología propuestas por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) de la ONU

Para la elaboración de la línea base se tomaron como base los datos históricos de CANACERO, INEGI y SENER, sobre la cantidad de acero líquido consumido entre el período de 1990 al 2006. Dando como resultado 46.8 Mt de CO<sub>2</sub>e para el año 2030.

Las opciones propuestas para reducir las emisiones de GEI son el aumento en reciclado de chatarra, el cual ya se practica en México, mejoras a equipos y eficiencia en procesos, cogeneración (retrofit en plantas ya existentes y en plantas nuevas) y vaciado directo, estas medidas dan un potencial total de reducción de 12 Mt para el año 2030.

#### 2.2.2.7 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector transporte

En este informe la mitigación de GEI en el sector transporte involucra la aplicación de estrategias diseñadas para la reducción de la intensidad de carbono por los diferentes modos de transporte, considerando los siguientes factores: mejora en la eficiencia energética de los vehículos ligeros a gasolina o diesel, diversificación de combustibles utilizados por el sector, incorporación de nuevas tecnologías vehiculares, incremento de la economía del combustible y reducción de la intensidad energética del sector, fomento al cambio modal hacia modos de transporte de pasajeros y de carga progresivamente más eficientes como los Sistemas Integrados de Transporte (SIT) y el ferrocarril.

La estimación de costos para el sector transporte se realizó en función de los ahorros de combustibles obtenidos por la aplicación de las medidas de mitigación en los subsectores autotransporte, aéreo, marítimo y ferroviario, a excepción de la medida de Aplicación de una Norma de Eficiencia Energética del subsector autotransporte. El precio de referencia de los combustibles utilizados fue el último precio reportado por el INEGI para cada uno de estos, mismos que se asumieron como constantes a lo largo del periodo de estudio. Se obtuvo el valor presente neto (VPN) de los costos resultantes, así como de las emisiones reducidas obtenidas de cada medida, con lo cual se calcularon los costos incrementales.

En términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, en el subsector autotransporte, el objetivo es pasar de 200 gramos de CO<sub>2</sub> kilómetro a 130 en 2015 y 105 gramos de CO<sub>2</sub> en 2030, para lo cual se sugieren medidas tales como; 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.

### 2.2.3 Mexico low-carbon study. México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC)

Este estudio forma parte de seis estudios de baja emisión de carbono que se llevan a cabo en países en desarrollo y de ingresos medios por el Banco Mundial. México actualmente está en proceso de elaborar un plan de acción específico para la mitigación del cambio climático y este estudio pretende contribuir a este plan.

El objetivo principal del MEDEC es evaluar el potencial de reducción de emisiones de GEI al año 2030, evaluando diferentes opciones en los sectores claves del país utilizando una metodología común. Obteniendo así un escenario de bajas emisiones de carbono para México.

El MEDEC evaluó las opciones en cinco sectores, eléctrico, petróleo y gas, eficiencia energética, transporte y uso de suelo y bioenergía. Para la elaboración del escenario base utilizó el modelo LEAP<sup>2</sup> con supuestos macroeconómicos para el PIB, crecimiento de la población y precios de los combustibles.

Las opciones de mitigación sectoriales se escogieron de acuerdo a su potencial de reducción de emisiones, el costo neto por la reducción y la viabilidad de las opciones en corto y mediano plazo. Se evaluaron 44 opciones en los cinco sectores de las cuales solo 39 son viables de acuerdo a los criterios del documento. La aplicación de las 39 opciones de mitigación conduce a una reducción de 456 Mt de CO<sub>2e</sub> en el año 2030, es decir las emisiones el año 2030 serán parecidas a las del 2008, lo que significa un crecimiento económico para México sin aumentar sus emisiones de GEI.

Las cinco opciones que ofrecen la mayor reducción de emisiones son reducción en la deforestación y degradación (REDD), geotermia, generación con leña, optimización de rutas de transporte público y norma vehicular.



## 2.2.4 La economía del cambio climático en México. Estrategias de mitigación para México.

Este estudio fue elaborado por la Facultad de Economía de la UNAM, por el Dr. Luis Miguel Galindo en 2008. Analiza escenarios de emisiones posibles asociados a la economía mexicana y las opciones de mitigación consecuentes así como sus posibles costos.

Sugiere estabilizar por debajo entre 450 y 500 ppm CO<sub>2e</sub> esto implica tasas de descarbonización entre 0.6 a 0.9% (las internacionales están en 0.3%) y que se aumenten las tasa de desacoplamiento energético a valores cercanos de 1%, dando como resultado, en los escenarios simulados con tasas de descuento del 4%, costos aproximados de 3% del PIB.

Este documento presenta proyecciones para el período 2007-2050 para un escenario base y dos escenarios alternativos con 3.5% de crecimiento del PIB el cual se mantiene constante en los tres escenarios. Para el escenario base los precios relativos de la energía y la intensidad energética permanecen constantes, en el escenario alternativo 1 propone una disminución de la intensidad energética en 1% y para el escenario alternativo 2 propone un incremento de 3% en precios relativos de la energía.

Para los escenarios sectoriales propone metas de reducción del 25 y 50% al año 2100 con respecto al 2002.

Concluye que las emisiones de GEI en México tienden a aumentar si no se instrumentan políticas públicas significativas que desacoplen las emisiones al consumo de energía o del producto per cápita, considerando como factor principal la innovación tecnológica y que las emisiones obtenidas en el escenario base serian insostenibles con el acuerdo internacional de mitigación, en cambio con los escenarios propuestos se puede tener un crecimiento económico con un crecimiento de baja intensidad de carbono. Es importante imponer metas a nivel nacional y sectorial de desacoplamiento energético y de descarbonización dejando libre las opciones tecnológicas.

Para el escenario de reducción del 50% de emisiones del 2002 al 2050 estima costos de mitigación entre 0.56% y 1.68% del PIB, con una tasa de descuento de 4%.



## 2.2.5 El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores

Este estudio elaborado por Gabriel R. Quadri de la Torre en 2008. Realiza un análisis de los potenciales de reducción de emisiones de GEI en México sectorial así como los costos que esto implica.

Para identificar las áreas potenciales de reducción de emisiones de GEI en México, parte del análisis del inventario nacional de emisiones 2002 suponiendo que no existen cambios sustanciales en la en la distribución básica de las emisiones GEI y considerando que se han eliminado los gases HFC 23, que existe un incremento en las emisiones del sector transporte, debido al alto consumo de los combustibles automotrices presentados en los últimos años y que las emisiones indirectas de la industria del consumo de electricidad se redujeron de manera relativa, debido al que el factor de emisión de la red del sistema eléctrico interconectado es menor actualmente.

Bajo estas consideraciones reinterpreta el inventario nacional imputando las emisiones del sistema eléctrico nacional a los consumidores, lo que es conocido como emisiones indirectas e individualiza las emisiones de los sectores industriales más relevantes (química, cemento, siderurgia y otras industrias) además de asignar a PEMEX sus emisiones por autoconsumo de combustibles, uso de electricidad y emisiones fugitivas.

Para la realización de sus escenarios utiliza un análisis tecnológico y de costos por sector (tipo "bottom up") que permite aproximar costos de reducción. Tomando como base el año 2002 y obteniendo las emisiones por sector al año 2020, posteriormente identifica las oportunidades de reducción de cada sector, con esta información estima los costos e integra las proyecciones sectoriales de volúmenes y costos para realizar la curva de costos marginales de reducción de emisiones. La metodología para el calculo de los costos puede variar pero en la mayoría se utiliza el procedimiento de calculo de VPN en períodos de 10 a 30 años y con tasas de descuento que oscila entre 4% y 10% anual.

La información para la estimación de costos se basa del IPCC, USEPA, CONAE, The Conference Board de los Estados Unidos, proyectos registrados MDL en el mundo, cálculos publicados por Vattenfall, McKinsey 2007 y estimaciones del propio autor.

Para la línea base obtiene que las emisiones totales aumentarían a una tasa anual de 2.8% y concluye que la mayor reducción de emisiones se obtiene por la eliminación de subsidios a los combustibles automotrices en la convergencia de sus precios con aquellos vigentes en otras naciones desarrolladas y emergentes, y en la regulación del rendimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> por kilometro recorrido de los vehículos. Otra oportunidad es lograr una tasa neta cero de deforestación. Es importante una política activa en materia de residuos municipales y manejo de rellenos sanitarios que induzca su equipamiento con sistemas de destrucción y aprovechamiento de metano al igual que en las plantas de tratamiento de aguas residuales y a las instalaciones de la industria pecuaria.

## 2.2.6 Energías renovables para el desarrollo sustentable en México

Publicado por la Secretaría de Energía y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, este informe indica que México está en proceso de mejorar significativamente su marco regulatorio y legal, a efecto de impulsar el desarrollo de tecnologías basadas en Energías Renovables, y asegurar que éstas obtengan la retribución económica correspondiente.

Debido a que las Energías Renovables (ER) representan una respuesta importante a la demanda generalizada de un modelo sustentable de progreso que no afecte a las generaciones futuras, su eficaz aprovechamiento contribuirá a la conservación y uso eficiente de los recursos energéticos no renovables. Además mencionan que, las economías de escala alcanzadas como resultado del mayor aprovechamiento de las mismas, junto con el notable incremento en los precios de los combustibles fósiles observado durante la presente década, han mejorado su posición competitiva, abriéndoles mayores posibilidades.

De 1993 al 2003, reportan que, los hidrocarburos mantuvieron la mayor participación en la oferta interna bruta de energía primaria, mientras que la contribución de las ER fue marginal, empleándose principalmente para calefacción y para la generación de electricidad. Sin embargo, su estudio revela que para el periodo 2005-2014, se esperan incrementos importantes, impulsados por la SENER conjuntamente con CFE, en materia de hidroelectricidad (2,254 MW), eoloelectricidad (592 MW) y geotermia (125 MW). La meta para el 2012, es un porcentaje mínimo de participación de las ER en sus distintas modalidades, respecto a la generación total de electricidad, del 8%, sin incluir las grandes hidroeléctricas.

Reportan una prospectiva para ER elaborada a solicitud de la SENER, que prevé como escenario base que la oferta de energía primaria se duplicará entre 2002 y 2030, el gas natural tendrá una tasa de crecimiento anual del 3.5%, la demanda de petróleo para el año 2030 se estima en 3.4 millones de barriles diarios y en cuanto a ER, la hidroenergía crecerá 2.3%/año, la biomasa y desechos 3.7% y otras renovables 4.1%.

Por su parte, las ER no utilizadas en la generación eléctrica alcanzarán sólo el 5% del total de la mezcla, reduciendo su participación la biomasa y desechos del 8% al 4% entre 2002 y 2030, debido a que el uso principal de la biomasa en México al 2004, es en el sector residencial (leña para la cocción de alimentos). En cuanto a la biomasa y los desechos, se prevé un incremento para llegar a ser tan importante como la geotermia en 2030 (36% y 38% del total generado por ER excluyendo la hidroenergía) y el doble de la contribución del viento (19%). La contribución de la hidroenergía a la generación eléctrica se duplicará entre 2002 y 2030.

## 2.2.7 Prospectiva energética para el periodo 2014-2030 del sector energía de México

Para su análisis de prospectiva energética, este informe elaborado por el Programa Universitario de Energía utilizó el modelo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System), el cual brinda un soporte integrado y confiable en el desarrollo de estudios de planeamiento energético integrado. Es del tipo "botton-up" y consiste esencialmente en un modelo energético-ambiental basado en escenarios, del tipo "demand-driven". Se elaboraron dos escenarios:

Escenario Alto y Escenario Bajo, cuyo periodo de modelación es de 2013 a 2030, manejan los supuestos comunes de que; no existen cambios radicales en la canasta de combustibles, la expansión del sector eléctrico incluye diferentes fuentes de generación como son la hidroeléctrica, ciclo combinado, turbogas, combustión interna y carboeléctrica, el PIB es el factor de crecimiento que marca la pauta para el desarrollo del mercado energético, la población crece a una tasa anual del uno por ciento durante el periodo 2013-2030. En el Escenario Alto el PIB crece a una tasa del 4.5% anual, mientras que en el Escenario Bajo el PIB crece a una tasa del 2.5% anual, en promedio a lo largo del periodo 2013 -2030.

En el periodo 2003-2030 la resultante del crecimiento del consumo de energía en el escenario bajo es de 2.2% anual y en el escenario alto la energía crece a un 3.2%. Los sectores que muestran mayor relevancia en este informe, son los correspondientes al sector eléctrico y transporte, en donde las acciones de ahorro de energía juegan un papel preponderante.

Concluyen que, el crecimiento en los sectores residencial, comercial y servicios, no es tan elevado debido a las expectativas de rápido crecimiento en el uso de nuevas tecnologías como son las telecomunicaciones y que se refleja en los supuestos de disminución en la intensidad energética que se visualizó en 1.5 % de disminución por año. Para satisfacer ésta demanda los hidrocarburos seguirán jugando un papel relevante en los casos de alto y bajo crecimiento y su valor oscila en un 80%.

De acuerdo con sus proyecciones, las energías renovables (geotermia, minihidráulica y solar) participan en un rango del 2.4% al 3.86%. La energía nuclear tiene un incremento importante en el caso del alto crecimiento económico se triplicará la capacidad tomando como referencia el año 2013 y en el bajo crecimiento duplicaría su valor.

Los valores que se alcanzarán en el año 2030 son de 510 TWh y de 621 TWh para los dos escenarios, lo que significa un crecimiento anual de 3.46% y de 4.2% respectivamente, debido a la tendencia mundial de mayor uso de la energía eléctrica y por el otro lado la disminución en la intensidad energética supuesta, que fue de 1.5% anual.

## 2.2.8 Perspectiva del medio ambiente en México. GEO México 2004

Este informe fue elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en colaboración con SEMARNAT, evaluando los cambios ambientales en los últimos 30 años en México así como una perspectiva al año 2030. Proponen tres escenarios determinados por la evolución del proceso de maduración política del país los cuales son:

*La vida no vale nada:* no existe un avance en políticas y economía y no se mantienen vigentes las políticas públicas actuales, y la dependencia del estado en los recursos petroleros aumenta por lo que el gasto público depende directamente de los precios del petróleo. Las inversiones privadas en infraestructura y nuevas tecnologías son limitadas. El medio ambiente se deteriora y el costo individual y social aumenta. El consumo de energía aumenta 44% en el 2030 al igual que el índice de intensidad energética el cual aumenta en 22% (igual a los niveles de 1990). Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> globales se mantienen casi constantes al año 2030 (aproximadamente 500 MtCO<sub>2</sub>)

*Atole con el dedo:* la economía funciona pero con los recursos mínimos necesarios para seguir con las políticas actuales y para algunos eventos no previstos, pero sin recursos para inversión pública en infraestructura ambiental, así como en capacitación, investigación y desarrollo. Poca inversión privada. Las tendencias actuales de deterioro ambiental se modifican ligeramente no resolviendo el problema a fondo. Se lleva a cabo una reforma energética permitiendo la inversión privada nacional y extranjera solo para la generación de electricidad. El crecimiento en la economía es de 2.42% anual, duplicando así su valor para el año 2030, el valor del PIB per cápita aumenta 60% para el mismo año. Aumenta el consumo de energía en un 225% (principalmente en el gas natural importado). Las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan en un 50% (aproximadamente 750 MtCO<sub>2</sub>), el sector energía contribuye con el 49%.

*Abriendo brecha:* Se logra una maduración política en el país permitiendo llegar a grandes acuerdos para las políticas de estado y permitiendo así que la economía funcione con los parámetros de país desarrollado. Existe una reforma energética integral permitiendo completamente la inversión privada con regulación por parte del Estado, dando como resultado que la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles crezca 10% y la intensidad energética se reduce a la mitad. Se promueven nuevos combustibles como el gas natural y el hidrogeno. El crecimiento promedio del PIB es de 3.8% anual, triplicando el valor de la economía en el 2030, el PIB per cápita aumenta 2.5 veces en el período 2000-2030. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen a casi 20% (400 MtCO<sub>2</sub>)

Concluye que el peor escenario en cuestión de emisiones de CO<sub>2</sub> es *abriendo brecha*, dando como resultado un crecimiento de casi el 50% con respecto al año base. Por lo tanto la mejora en la economía aumentara las presiones sobre el medio ambiente que si no van acompañadas en mejorar la intensidad en el uso de recursos, reciclaje y diversificación el daño al medio ambiente aumentara de manera inversamente proporcional a la economía repercutiendo a mediano plazo en la misma. Es necesario disminuir el consumo de combustibles fósiles y aumentar el consumo de las energías renovables, no modificar las intensidades actuales de consumo y reducir la dependencia del automóvil.

## 2.3 Estudios sectoriales de organismos internacionales

### 2.3.1 Perspectivas tecnológicas en energía 2008. Escenarios y estrategias para el 2050

Documento elaborado por la Agencia Internacional de Energía, AIE, (por sus siglas en inglés), en el cual se reconoce que para el desarrollo y crecimiento económico a nivel mundial, es requerimiento incrementar el suministro de energía, sin embargo, las fuentes de energía están bajo presión por el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, con la consecuencia en la amenaza para el medio ambiente.

Entre el 2010 y el 2050, se estima que la economía global crecerá cuatro veces, esto ofrece beneficios económicos y mejoras en el nivel de vida para la población, pero también involucra mucho mayor consumo de energía e inevitables presiones sobre los recursos naturales y emisiones de CO<sub>2</sub> inherentes al consumo de combustibles. Así mismo, se estima un incremento en la demanda de petróleo de 70% y 130% de incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> al 2050. Emisiones de tal magnitud podrían elevar la temperatura promedio en 6 °C con consecuencias significativas en todos los aspectos de la vida y cambios irreversibles en el medio ambiente.

En este estudio, se plantean las opciones necesarias para disponer de energía limpia así como su empleo más eficiente en el futuro, cuál será el costo de esto y que políticas son necesarias para lograrlo. El análisis de este documento, demuestra que para disponer en el futuro de energía sustentable serán importantes: la tecnología y sus avances, incremento en la eficiencia de producción y en el consumo de energía, captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, fuentes renovables de energía y energía nuclear. Se proponen dos escenarios, para lo cual se toma como referencia niveles de concentración de CO<sub>2</sub> de 550 ppm para el 2050:

Escenario ACT: Su fundamento consiste en que, a partir de la aplicación de las tecnologías existentes y suponer su constante desarrollo, llevar los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> de 2050 a niveles presentados en el 2005. Pretende lograr una concentración de CO<sub>2</sub> de 485 ppm en el 2050. Esta propuesta tendrá un costo estimado del doble de EPT 2006, con un costo marginal de 50 USD/ton de CO<sub>2</sub>. Se requerirá de un ajuste significativo de los sistemas energéticos.

Escenario Azul (BLUE): Esta propuesta considera que si el llevar las emisiones de CO<sub>2</sub> a niveles del 2005, no es suficiente, deberán reducirse entre 50 y 85% de los niveles presentados en 2050. Concentración de CO<sub>2</sub> de 450 ppm en el 2050, tecnológicamente factible, con costo marginal de 200 USD/ton de CO<sub>2</sub>. Existe incertidumbre, son necesarios un cierto número de casos. Blue es posible solamente con la participación de todo el mundo. Se requerirá de un sistema de energía completamente diferente.

Este trabajo contiene mapas tecnológicos para todos los sectores energéticos, incluyendo, generación de electricidad, ramas de la construcción, industria y transporte. Además se muestra cómo las tecnologías energéticas pueden establecer la diferencia en una serie ambigua de escenarios hacia el 2050. Este documento considera a México como parte de la OECD NA (Norte América) o como parte del G8+5.

### 2.3.2 OECD environmental outlook to 2030 (prospectiva medioambiental de la OECD para el 2030)

---

Documento elaborado por la Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), en el 2008

Proporciona un análisis económico y ambiental de las tendencias al año 2030, y presenta simulaciones de aplicación de políticas para enfrentar los principales problemas ambientales incluyendo los impactos ambientales, económicos y sociales. Indica que si no se llevan a cabo nuevas políticas se dañara irreversiblemente el medio ambiente y los recursos naturales que son necesarios para el crecimiento económico y el bienestar de los países además que los costos por no hacer nada son elevados. Prevé que en el escenario base los GEI aumentaran 52% en 2050 ocasionando un aumento de temperatura global del orden de 1.7-2.4°C.

Este documento demuestra que hacer frente a los problemas de cambio climático, pérdida de biodiversidad, escasez de agua y los efectos en la salud y contaminación, son accesibles y asequibles siempre y cuando se lleven a cabo una combinación de políticas que aborden el problema de una forma rentable.

Esta prospectiva se basa en proyecciones de tendencias económicas y ambientales hasta el año 2030. Los retos clave para esta prospectiva los presenta utilizando un sistema de “semáforos”.

Indica que de no llevarse a cabo políticas medioambientales, los países en vías de desarrollo serán los que padecerán los mayores impactos ambientales y que son los que están menos preparados para gestionarlos y adaptarse además de que los costos económicos y sociales serán significativos y afectar sus economías y las de los países de la OCDE.

Este documento agrupa a México con Canadá y Estados Unidos denominándolos NAM o Norte América.

Para este grupo se indica que por reducir a 450 ppm CO<sub>2</sub>e, este grupo puede obtener reducciones de aproximadamente 24% de NO<sub>x</sub> y 40% de SO<sub>x</sub>.

Con respecto al PM<sub>10</sub> este indica que el grupo NAM reducirá sus emisiones en el año 2030 llegando a emitir aproximadamente 20 µg/m<sup>3</sup> en su línea base y con la aplicación de las políticas propuestas en el documento se puede llegar a reducir un 50% las emisiones de PM<sub>10</sub>.



### 2.3.3 Revolución energética una perspectiva de energía sustentable para México

Informe elaborado por Consejo Europeo para las Energías Renovables (EREC) y Greenpeace, el cual menciona que las energías renovables no son un sueño para el futuro: son una realidad, son una idea bien desarrollada y se puede utilizar a gran escala. Además describe un camino de desarrollo que cambia la situación actual y la convierte en un suministro sustentable de energía.

Este trabajo estudia dos escenarios para 2050, el Escenario de Referencia que se basa en el publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE) en el World Energy Outlook 2004, extrapolado a partir de 2030 y el Escenario de la Revolución Energética, que va más allá de las previsiones de la AIE, y donde los escenarios de suministro energético han sido calculados utilizando el modelo de simulación MESAP/PlaNet, desarrollado aún más exhaustivamente por la consultora Ecofys.

Para el escenario mexicano contaron además, con el trabajo de investigación y análisis de los consultores Omar Masera y Odón de Buen. El Centro Interdisciplinario de Estudios en Ecosistemas (CIECO)-UNAM y Energía, Tecnología y Educación, S.C. (ENTE) que revisaron el camino sustentable hacia 2050.

Determinan que, la porción de energías renovables en la generación eléctrica es del 17.6%. La contribución de las energías renovables a la demanda de energía primaria para suministro de calor y para cocinar es alrededor de 18%. Cerca de 91.5% del suministro energético de México aún proviene de combustibles fósiles y únicamente 7% proviene de fuentes renovables de energía.

Por lo anterior y a fin de alcanzar un crecimiento de las fuentes renovables de energía, que sea económicamente atractivo, concluyen que es de gran importancia movilizar de manera equilibrada y oportuna todas las tecnologías renovables. Dicha movilización depende de los potenciales técnicos, los costos reales, las posibilidades de reducir costos y de la madurez tecnológica.

Bajo el Escenario de Referencia, la energía relacionada con las emisiones de CO<sub>2</sub> se duplicarían en México 2050 (lo que implica un camino muy distante a un desarrollo sustentable), en el de la Revolución Energética estas emisiones disminuyen. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan de 348 millones de toneladas en 2005 a 417 millones de toneladas para 2015 y disminuirán nuevamente a 141 millones de toneladas en 2050.

Después de 2020, las mejoras de eficiencia y el incremento en el uso de las energías renovables en los sectores de calor y electricidad también compensarán el continuo crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector transporte, lo cual permitirá tener una reducción general.

### 2.3.4 International Energy Outlook 2008

Informe elaborado por la Agencia Internacional de Energía (IEA) en septiembre del 2008. Realiza un análisis global de la demanda de energía y las perspectivas de la economía para el periodo 2005 al 2030. Prevé un aumento en el consumo de energía mundial del 50%.

### 3 POTENCIAL DE MITIGACIÓN IDENTIFICADO EN MÉXICO

#### 3.1 Curvas de mitigación y costos marginales

La curva de costo marginal de abatimiento conocida como MAC (*marginal abatement cost*), presenta el costo unitario adicional (marginal) por reducir una tonelada de CO<sub>2</sub>e al aplicar diferentes estrategias de mitigación. Al reunir el potencial de reducción y los costos marginales permite priorizar los proyectos de bajo costo con un alto potencial de mitigación independientemente del tipo de políticas necesarias para su aplicación.

El eje vertical de la curva muestra el costo marginal de cada estrategia de mitigación, (por lo general en dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>e evitada), y el eje horizontal indica la cantidad de CO<sub>2</sub>e que se reduce debido a la estrategia de mitigación aplicada (por lo general en millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, Mt CO<sub>2</sub>e).

A continuación se presentan las MAC que se han realizado para México y una breve explicación de los resultados obtenidos:

##### 3.1.1 MAC de Quadri

Este documento analiza 19 opciones de mitigación con un potencial de reducción de 287.6 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2020 (los demás estudios tienen un horizonte al año 2030), de las cuales 3 opciones presentan beneficios negativos que equivalen al 1.17% del potencial de mitigación y 11 presentan costos negativos por debajo del los 15 US\$/t CO<sub>2</sub>e.

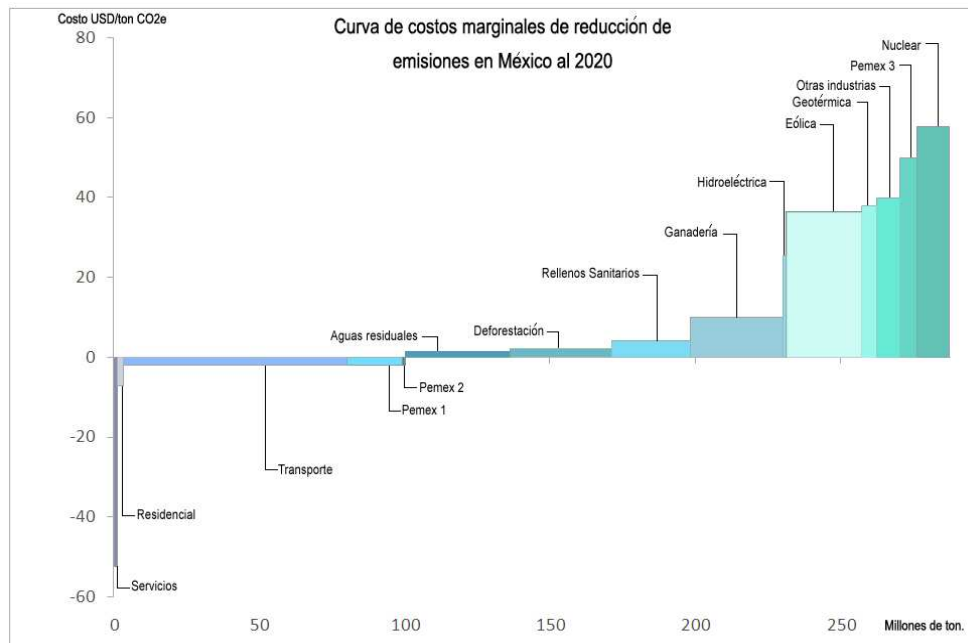
La opción que presenta el mayor costo marginal es la generación de energía nuclear con 57.8 US\$/t CO<sub>2</sub>e y una reducción de 11.1 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2030, le sigue la correspondiente al sector petróleo y gas con la opción de reducir el 40% de la emisiones fugitivas (PEMEX3) con un costo marginal de 50 US\$/tCO<sub>2</sub>e y 5.8 MtCO<sub>2</sub>e.

De acuerdo a la MAC de este estudio, la opción prioritaria sería la del sector transporte, eliminación de subsidios, por su alta reducción de emisiones y costo.

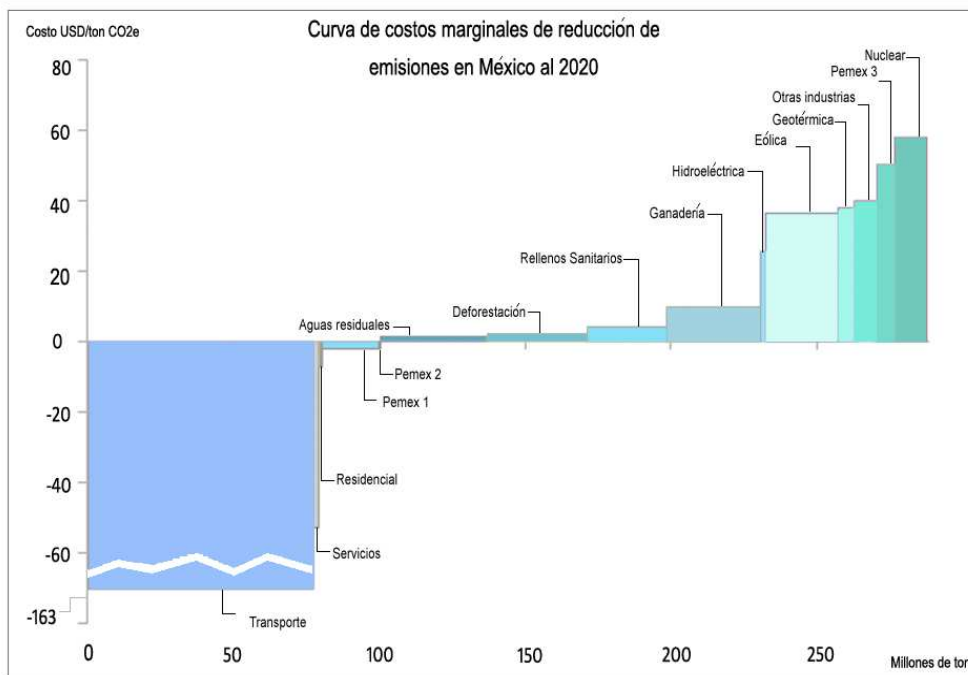
Además de la opción anterior las otras cuatro opciones que presentan el mayor potencial de reducción en el año 2030, son: deforestación (35.5 MtCO<sub>2</sub>e), gestión de metano (35 MtCO<sub>2</sub>e), reducir al 50% la emisiones de metano del sector (32 MtCO<sub>2</sub>e) y rellenos sanitarios (27.5 Mt CO<sub>2</sub>e).

La primera de las MAC presenta una perspectiva al adoptar un costo cero en el sector transporte (los costos de eliminar subsidios son cero debido a que son recursos pagados de los contribuyentes y devuelto a los automovilistas por el fisco) y la segunda considera la eliminación de subsidios que también representaría altos beneficios netos si se cuantifica el costo de oportunidad fiscal alcanzando un costo de -163.3 USD/tCO<sub>2</sub>e





Fuente: Quadri. 2008



Fuente: Quadri. 2008

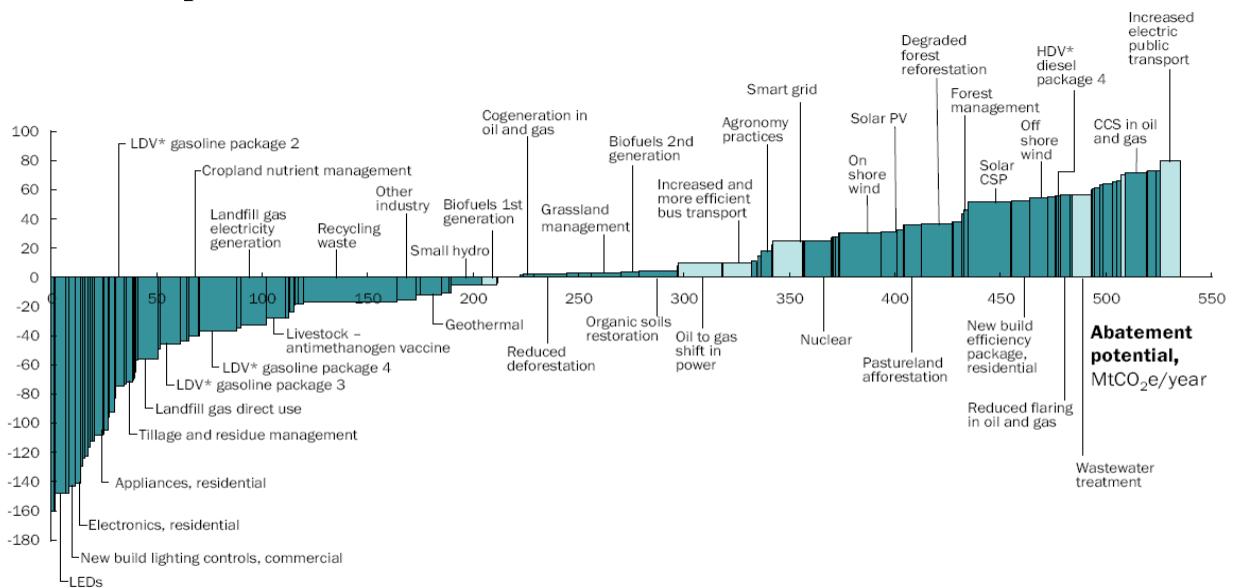
### 3.1.2 MAC de MCKINSEY

Este estudio analiza 144 opciones de mitigación de las cuales 31 opciones presentan beneficios netos negativos que equivalen al 37% del potencial global de mitigación y 46 presentan costos por debajo de los 15 US\$/tCO<sub>2</sub>e.

Las cinco opciones que presentan el mayor potencial de reducción en el año 2030, son: renovables (82.2 Mt CO<sub>2</sub>e), reciclar (44.1 MtCO<sub>2</sub>e), reforestación de pastizales (38.1 MtCO<sub>2</sub>e), rendimiento del motor paquete 4 (21.1 MtCO<sub>2</sub>e) y cambiar el uso de combustible por gas en energía (21 MtCO<sub>2</sub>e) lo que equivale al 33.4% del potencial global de mitigación en el año 2030.

La opción que presenta el mayor costo marginal es el aumento del uso de transporte público eléctrico con un costo de 80 US\$/tCO<sub>2</sub>e y una reducción en el año 2030 de 9.4 MtCO<sub>2</sub>e, en segundo lugar esta la opción de generación de energía con biomasa con un costo de 72.4 US\$/tCO<sub>2</sub>e y una reducción de 0.4 MtCO<sub>2</sub>e.

GHG abatement cost curve for Mexico in 2030  
 Cost, US\$/tCO<sub>2</sub>e



\* LDVs = light duty vehicles; HDVs = heavy duty vehicles  
 Note: The cost estimate for the light-colored bars is approximate  
 Source: McKinsey GHG abatement cost curve v2.0; McKinsey analysis

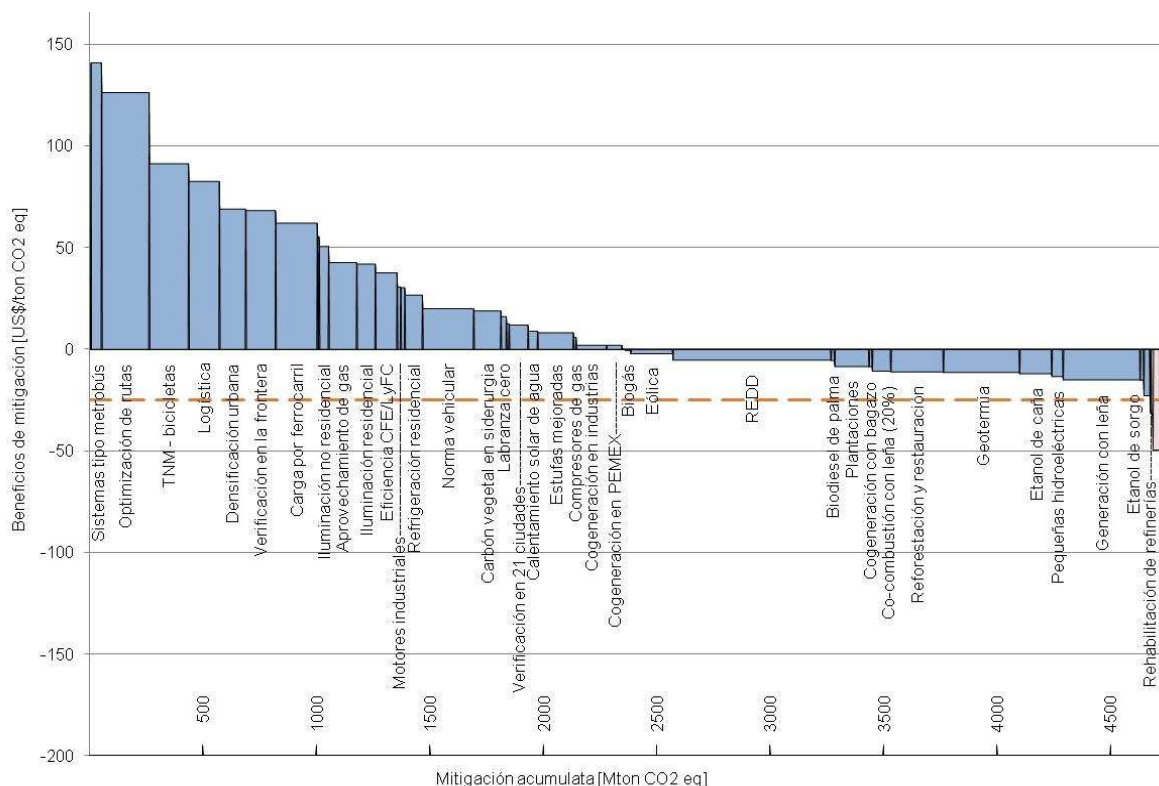
Fuente: MCKINSEY. 2008

### 3.1.3 MAC del MEDEC

Con las opciones de mitigación presentadas en este estudio de puede llegar a reducir 450Mt de CO<sub>2</sub> en el año 2030. Las cinco opciones de este estudio que presentan el mayor potencial de mitigación al año 2030, son: geotermia, (49.4 MtCO<sub>2</sub>e), generación con leña, (47.4 MtCO<sub>2</sub>e), reducción de la deforestación y degradación (45.8 MtCO<sub>2</sub>e), norma vehicular (34.5 MtCO<sub>2</sub>e) y optimización de las rutas de transporte público (26.6 Mt), en conjunto estas medidas reducen el 41.6% del total del potencial de mitigación de las opciones analizadas.

Del total 22 opciones presentan beneficios netos negativos que es aproximadamente el 43.4% del potencial de mitigación y 36 opciones presentan costos iguales o por debajo de los 15 US\$/tCO<sub>2</sub>e.

La opciones que tiene el mayor costo marginal pertenece al sector energía y es la sola PV con 0.1 MtCO<sub>2</sub>e de reducción y un costo de 62 US\$/tCO<sub>2</sub>e, seguida por la opción de autobuses híbridos con una reducción de 5.2 MtCO<sub>2</sub>e y un costo marginal de 57 US\$/tCO<sub>2</sub>e.



Fuente: MEDEC. 2008

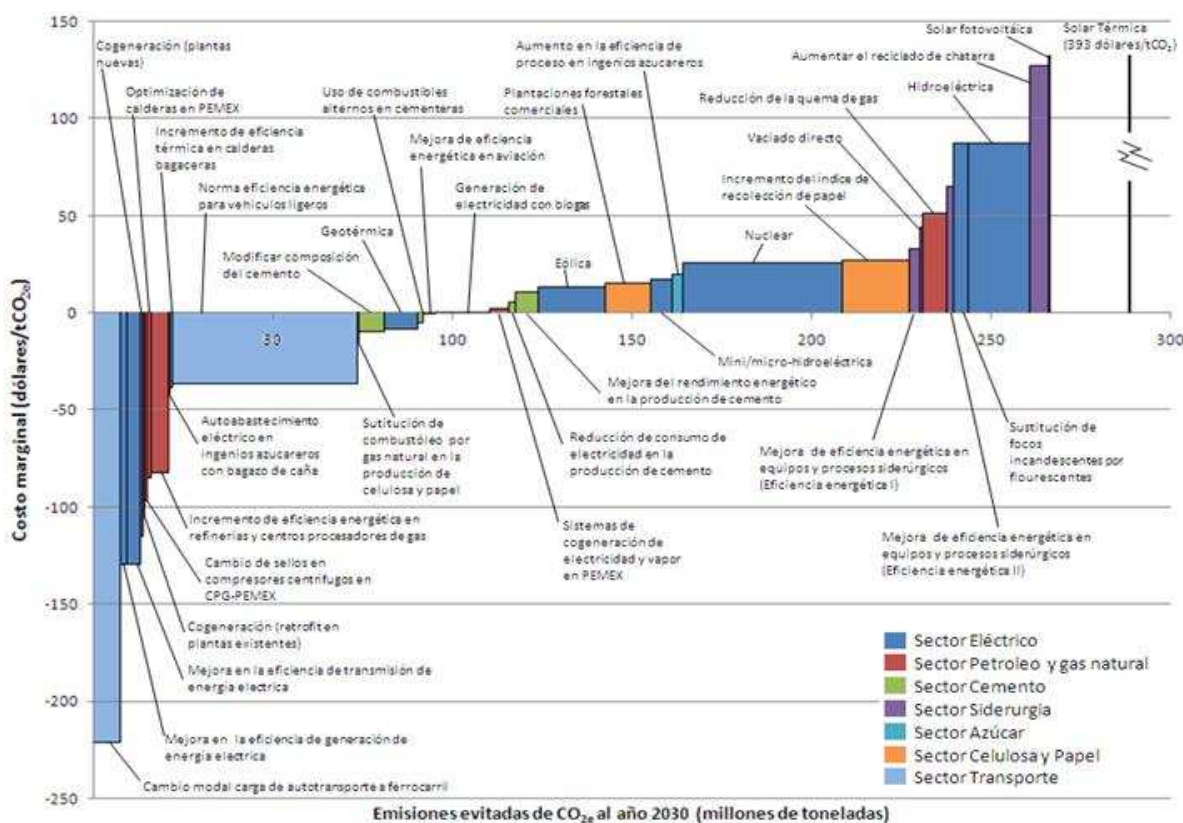
### 3.1.4 MAC del CENTRO MARIO MOLINA

El estudio realizado por el CMM analiza un total de 39 opciones de mitigación al año 2030 con un potencial de mitigación del 35% con respecto a su línea base.

Las cinco opciones que presentan el mayor potencial de reducción al año 2030, son: norma de eficiencia energética para vehículos ligeros (51 Mt), energía nuclear (44 Mt), eólica (19 Mt), incremento de índice de recolección de papel (19 Mt) e hidroeléctrica (18 Mt). El potencial de mitigación de estas 5 estrategias representa el 57% de potencial de mitigación global de las opciones analizadas en el año 2030.

Del total de las opciones analizadas, 17 tienen beneficios netos negativos que representan aproximadamente el 36% del potencial de mitigación y 25 presentan costos iguales o por debajo de los 15 US\$/tCO<sub>2e</sub>.

Las cinco opciones que presentan el mayor costo marginal se encuentran en el sector energía y siderurgia que en conjunto contribuyen con el 10% del potencial total de mitigación, estas son: solar térmica, solar fotovoltaica, aumento de reciclado de chatarra, hidroeléctrica y sustitución de focos incandescentes por fluorescentes.



Fuente: Centro Mario Molina. 2008

### 3.2 Estrategias. Medidas o proyectos principales, así como los rangos identificados por sectores en nuestro país (tablas)

A continuación se presentan en forma de tablas las opciones de mitigación propuestas por cada documento analizado así como los potenciales de reducción de emisiones de GEI y sus costos marginales.

#### 3.2.1 México tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (M tCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Electricidad	Generación de energía eléctrica con una participación de renovables de 65.7% y 1.2% de energía nuclear (Renovables)	421.00	362.00
	Generación de energía eléctrica con una participación de renovables de 23.3% y 2.8% de energía nuclear (Bp renovables)	101.10	212.40
	Generación de energía eléctrica con una participación de renovables de 29.5% y 12% de energía nuclear (visión 2030 bp)	269.60	116.60
	Generación de energía eléctrica con una participación de renovables de 32.1% y 10.5% de energía nuclear (Visión 2030 ap)	270.80	123.70
Industria	Implantación de medidas de ahorro impulsadas por la CONAE	73.70	
	Ahorro energía	69.80	
Transporte	Normas de eficiencia energética. a partir de 2008 con una eficiencia de 15.73 km/l en vehículos nuevos, 7.52 km/l en camiones ligeros y	142.40	
	Dieselización: Introducción del 2% de vehículos particulares y SUV's en el año 2010 y 20% en el 2020, para los comerciales fue de 39% para el año 2030. La eficiencia de estos vehículos se considera 23% superior en el año base y 33% en el 2030	73.70	

### 3.2.2 Cambio climático una visión desde México

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Energético	Plantas generadoras de ciclo combinado	63.1	-15
	Generación de electricidad por viento	10.7	-11.5
Industrial	Motores eléctricos	0.5	106.4
	Cogeneración industrial	30.1	-33
	Calderas industriales	1.9	-29
	Bombeo de agua potable	0.7	-35
Residencial y comercial	Iluminación eficiente en el sector comercial	0.7	-34
	Lámparas Compactas Fluorescentes (LFCs) en el sector residencial	1.9	-45.9
Transporte	Metro en la ZMVM	3.9	70
	Autobuses en la ZMVM	0.7	-29.5
Forestal	Manejo de bosques templados	174.8	-3.5
	Manejo de bosques tropicales	30.1	
	Reforestación	26.2	6
	Agroforestería	2.9	5

### 3.2.3 Programa especial de cambio climático 2008-2012 (PECC)

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Generación de Energía	Petróleo y Gas	41.83	13.07
	Electricidad	16.96	10.5
Uso de la Energía	Transporte	13.16	6.96
	Sector Residencial, Comercial y Municipios	15.1	6.75
	Industria	4.05	0.92
	Administración Pública Federal	0.2	0.07
Agricultura, Bosques y Otros Usos del Suelo	Agricultura	2.11	0.86
	Ganadería	37.84	16.66
	Bosques	73.38	24.3
	Frontera Forestal Agropecuaria	46.8	15.4
Desechos	Disposición de Residuos Sólidos Urbanos	7.6	4.4
	Descargas y Tratamiento de Aguas Residuales	1.02	1.02
Total		260.06	100.9

### 3.2.4 Estrategia nacional de cambio climático (ENACC).

Sector	Tecnología	Propuesta	Emissiones Evitadas 2014 (Mt CO <sub>2</sub> e/año)
<b>Generación y Uso de Energía</b>			
Eficiencia Energética	Normas y programas de CONAE	Continuar la aplicación de las normas de eficiencia energética actuales y desarrollar e instrumentar nuevas normas	24
	Ahorro y eficiencia energética del FIDE	Reforzar los programas del FIDE y promover nuevos programas	3.9
PEMEX	Cogeneración en PEMEX	Instalar plantas de cogeneración en el Sistema Nacional de Refinación y en otras instalaciones de PEMEX	7.7
	Suministro eléctrico centralizado a las plataformas petroleras	Sustituir los equipos locales de generación por una planta de ciclo combinado con capacidad de 115 MW y conexión a plataformas	1.9
	Mejora del desempeño energético en las refinerías	Incrementar la meta de eficiencia energética de PEMEX Refinación en cinco puntos porcentuales	2.7
	Reducción de emisiones fugitivas de metano	Reducir las emisiones fugitivas asociadas a la producción, transporte y distribución de gas natural, así como incrementar la eficiencia de los quemadores de las plataformas petroleras	2.4
Producción y Distribución de Energía Eléctrica: CFE y LFC	Transmisión y distribución de electricidad	Aumentar en dos puntos porcentuales la eficiencia de líneas de transmisión y distribución	6
	Eficiencia térmica de termoeléctricas que utilizan combustóleo	Incrementar en dos puntos porcentuales la eficiencia térmica de plantas termoeléctricas que utilizan combustóleo	0.7
	Conversión a gas natural y repotenciación de las termoeléctricas en el Pacífico, en conjunto con la modernización del Sistema Nacional de Refinación	Esta propuesta requiere de varias acciones simultáneas: liberar la producción de combustóleo y reconfigurarla, instalar una terminal de gasificación de gas natural licuado de importación en las costas del Pacífico, y conectar y convertir las termoeléctricas	21
Sector Industrial	Cogeneración en la industria nacional	Aprovechar el potencial de cogeneración de la industria cementera, siderúrgica, azucarera y otras	>25
Fuentes Renovables de Energía	Generación de electricidad con energías renovables	Instalar una capacidad de 7 mil MW para generar 16 mil GWh por año (no incluye hidroeléctricas El Cajón y La Parota)	8
	Biocombustibles	Introducción de biocombustibles producidos sustentablemente	N.D.
Transporte	Eliminación del parque vehicular antiguo	Reemplazar camiones de carga y autobuses de motor a diesel con más de 10 años de antigüedad a partir del 2008	2
	Impulso al transporte ferroviario	Aumentar la cobertura del transporte de carga por ferrocarril en un 10%	1.5
<b>Conservación de carbono forestal al 2012</b>			<b>MtCO<sub>2</sub></b>
Conservación de Carbono Forestal al 2012	Desarrollo Forestal Sustentable	Ampliar la superficie bajo Manejo Forestal Sustentable mediante en alrededor de 2.6 millones de hectáreas al año	6,000-12,000
	Pago por servicios ambientales	Mantener el esfuerzo de ampliación en la cobertura de los programas PSAH y PSA-CABSA para alcanzar una superficie total acumulada de 2.49 millones de hectáreas	1,500-3,100
	Conservación de ecosistemas forestales en Áreas Naturales Protegidas	Incrementar la cobertura de ANP a razón de 500 mil hectáreas anuales hasta alcanzar una superficie total adicional de 3 millones de hectáreas incorporadas al SINAP	500-1,000
	Unidades para el manejo y aprovechamiento de la vida silvestre	Incorporar a las UMA alrededor de 6 millones de hectáreas de ecosistemas en zonas áridas, tropicales y templadas	3,000-4,250
	Sanidad Forestal	Realizar acciones de diagnóstico y tratamiento fitosanitario en alrededor de 640 mil hectáreas al año	1,800-3,000



Sector	Tecnología	Propuesta	Emisiones Evitadas 2014 (Mt CO <sub>2</sub> e/año)
<b>Vegetación y Uso de Suelo</b>			<b>MtCO<sub>2</sub>e</b>
Captura de Carbono en Bosques	Reforestación y recuperación de terrenos forestales	Reforestar 285 mil hectáreas anuales por medio del PRONARE hasta alcanzar una superficie acumulada de 1.71 millones de hectáreas	10-20
	Reforestación con restauración de suelos	Restaurar suelos y reforzar con reforestación por medio del Programa Nacional de Conservación Restauración de Suelos Forestales a un ritmo de 115 mil hectáreas anuales, para alcanzar una superficie total de 60 mil hectáreas	5-15
	Plantaciones comerciales	Extender la superficie de plantaciones comerciales a un ritmo de 100 mil hectáreas anuales por medio del PRODEPLAN hasta alcanzar una superficie total de 600 mil hectáreas	3-7
	MDL Forestal	Identificar oportunidades para el desarrollo de proyectos forestales para captura de carbono en el marco del MDL	Por instrumentar
			<b>MtCO<sub>2</sub>e/año</b>
Desarrollo Bioenergético Forestal	Biocombustibles forestales	Implementación de 500 mil estufas eficientes de leña en comunidades rurales	2.5
Agricultura	Captura de carbono por reconversión productiva	Por medio del PROCAMPO fomentar la reconversión de tierras de uso agrícola hacia cultivos perennes y diversificados hasta alcanzar 900,000 hectáreas	4.2
	Uso eficiente de fertilizantes	Desarrollar estándares de buenas prácticas para regiones y cultivos, elaborar el Manual de buenas prácticas, evaluar prácticas e insumos alternativos	N.D.
	Prevención de incendios forestales por quemas agrícolas	Eliminar el uso del fuego en la agricultura de roza, tumba y quema en 100,000 hectáreas; reducir del 50% al 35% los incendios forestales originados por quemas agrícolas	N.D.
	Captura de carbono por labranza de conservación	Incorporar labranza de conservación y fomentar cultivos de cobertera en una superficie de 200,000 hectáreas	0.9
Ganadería	Captura de carbono en tierras de pastoreo	Rehabilitar una superficie de 450,000 hectáreas de terrenos de pastoreo por medio de los Programas de Fomento Ganadero y el PROGAN	4.6

### 3.2.5 Prospectivas del sector eléctrico 2008-2017

2017	Ahorro de energía (GWh)	Demanda evitada acumulada (MW)
Aplicación efectiva de las NOM de eficiencia energética	30,937	6,158
Ahorro estimado por programas internos en CFE	200	53
Ahorro de energía eléctrica por acciones FIDE*	4,963	
<b>Total</b>	<b>36,100</b>	<b>6,211</b>

\*estimada a partir del total reportado de reducciones que se esperan para el año 2017



### 3.2.6 Prospectivas sobre la utilización de las energías renovables en México una visión al año 2030

Este documento realiza una comparación con dos estudios internacionales y solo reporta la demanda de energía en petajoules. A continuación se presenta los resultados del estudio y la comparación

Sector	Opción	LEAP AC	LEA P BJ	SIMP AC/A P	SIMP AC/B P	SIMP BJ/AP	SIMP BJ/AP	WEO-2004	IEO-2004
petróleo	pico de producción será posterior al año 2025	6.76	4.94	5.34	5.49	4.16	4.27	6.82	7.72
gas natural	mercado mundial base GNL a final de los 2010's	5.39	4.43	5.34	5.34	3.52	3.52	4.22	3.81
carbón	su uso será por vía de gasificación para capturar y secuestrar el CO <sub>2</sub> antes de usar el gas sintético	925	641	1.039	1.113	641	695	419	495
hidroeléctrica	se mantiene constante porque es una tecnología de alto nivel de inversión y un recurso local	495	373	594	594	427	427	167	633
nuclear	12,500 GWh/a con 1680 Mwe para diciembre del 2013.	709	478	1.187	1.335	748	854	125	120
biomasa	3,000 GWh/a con 430 Mwe para diciembre del 2013.	540	420	445	371	427	374	921	12.78
geo-térmica	3,185 GWh/a con 428 Mwe para diciembre del 2013.	231	175	297	223	267	214	628	
eólica	3,000 GWh/a con 980 Mwe para diciembre del 2013.	185	93	297	223	267	214		
mini-hidráulica	3,000 GWh/a con 980 Mwe para diciembre del 2013.	71	49	148	74	107	53		
solar	562 GWh/a con 320 Mwe para el diciembre del 2013.	108	58	148	74	107	53		

### 3.2.7 Low-carbon growth. a potential path for Mexico

Algunas de las medidas se agruparon por lo cual no suman las 144 que indica el documento.

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (M tCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Edificaciones	Iluminación	5.3	-154.1
Edificaciones	Adaptación y nuevos sistemas de iluminación	8.7	-124.8
Edificaciones	Cambio de electrodomésticos y eléctricos por nuevos o adaptados	6.4	-124.5
Siderurgia	Cogeneración hierro y acero	1.2	-111.7
Edificaciones	Cambio de electrodomésticos y eléctricos por nuevos o adaptados	0.9	-95.5
Petróleo y gas	Downstream refining	10.3	-83.9
Edificaciones	Retrofit hvac	0.9	-65.9
Residuos	Uso directo del biogás	9.3	-56.0

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (M tCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Petróleo y gas	Midstream gas transport and storage	7.7	-43.5
Otras industrias	Cogeneración otras industrias	1.0	-43.4
Azúcar	Cogeneración, azúcar	3.0	-43.4
Transporte	Rendimiento del motor 1	1.0	-35.1
Químico	Cambio de combustible, sector químico	1.0	-34.5
Transporte	Rendimiento del motor 3	9.7	-34.2
Residuos	Generación de electricidad a partir de biogás	12.2	-32.4
Químico	Cogeneración, sector químico	3.4	-31.2
Agricultura	Manejo de pastizales	14.9	-18.3
Agricultura	Manejo de las tierras de cultivo	13.6	-18.2
Residuos	Reciclar	44.1	-16.9
Otras industrias	Otras industrias	8.9	-15.4
Siderurgia	Sustitución de coque en hierro y acero	0.3	-13.9
Cemento	Uso de combustibles alternativos en cemento	2.7	-13.8
Transporte	Rendimiento del motor 2	4.8	-12.5
Edificaciones	Paquete de eficiencia en nuevas construcciones	2.0	-12.2
Energía	Geotérmica	10.3	-12.2
Químico	Sistemas del motor sector químico	1.0	-11.0
Transporte	Híbridos	1.0	-10.2
Edificaciones	Retrofit y controles hvac	0.3	-9.5
Energía	Hidroeléctrica	15.0	-5.4
Transporte	Biocombustible 1a	6.9	-5.0
Transporte	Rendimiento del motor 4	21.1	-1.7
Energía	Carbón	0.7	0.0
Residuos	Composta	6.4	0.2
Forestal	Evitar la deforestación debida a la extracción de madera	1.3	1.5
Forestal	Evitar la deforestación por corte y quema para la subsistencia del sector agrícola	11.8	3.2
Transporte	Biocombustible 2da	8.3	4.1
Petróleo y gas	Upstream production and processing	19.4	4.8
Químico	Acido nítrico	0.2	6.6
Edificaciones	Adaptación de edificaciones	0.2	8.4
Agricultura	Restauración de tierra	19.3	9.7
Energía	Termoeléctrica	0.7	10.0
Transporte	Aumentar las rutas de BRT's 30 ciudades	1.6	10
Transporte	Aumentar las rutas de BRT's en la cd. De México	3.6	
Transporte	Aumentar el uso del transporte público	8.5	
Energía	Gas	21.0	10.0
Residuos	Quema de biogás del tiradero	2.2	11.2
Cemento	Cogeneración en cemento	0.3	22.3
Agricultura	Manejo del ganado	12.9	22.4
Energía	DSM y reducción de consumo (smart grid)	0.7	25.0
Energía	Scada (smart grid)	13.9	25.0
Forestal	Reforestación de pastizales	38.1	25.2
Energía	Nuclear	12.4	26.0

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (M tCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Energía	Renovables	82.2	26.7
Químico	Craqueo de etileno, sector químico	1.1	27.9
Químico	Mejora del proceso, sector químico	4.3	28.1
Químico	Optimización del catalizador, sector químico	4.3	28.1
Energía	Eólica terrestre	19.8	30.6
Energía	Solar pv	7.7	31.7
Edificaciones	Calentador de agua	0.2	38.2
Forestal	Gestión forestal	4.4	38.2
Siderurgia	Fundición directa en hierro y acero	0.8	43.7
Siderurgia	Smelt reducción en hierro y acero	1.0	44.0
Edificaciones	Calentador de agua	2.1	46.7
Energía	CCS	8.2	47.8
Siderurgia	Eficiencia energética en hierro y acero	4.9	49.3
Energía	Solar csp	20.2	51.7
Edificaciones	Paquete de eficiencia en nuevas construcciones	8.4	52.4
Energía	Eólica marina	8.7	54.6
Residuos	Tratamiento de aguas residuales	8.8	57.0
Químico	CCS, sector químico	3.3	62.1
Siderurgia	Captura y secuestro de carbono (csc) en hierro y acero	3.4	64.5
Cemento	Post combustion CCS en cemento	1.9	66.4
Energía	Biomasa (co-firing)	0.4	72.4
Transporte	Aumentar uso de transporte público eléctrico	9.4	80.0

### 3.2.8 Estudios sectoriales de mitigación de cambio climático

#### 3.2.8.1 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la industria azucarera

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
azúcar	autoabastecimiento eléctrico	0.18	-41,49
	incremento de eficiencia térmica en calderas	0.90	-38,74
	aumento en la eficiencia de proceso	2.84	20,17

#### 3.2.8.2 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector papel y celulosa

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
celulosa y papel	sustitución de combustóleo por gas natural	0.22	-15.00
	plantaciones forestales comerciales	12.66	15.00
	incremento del índice de recolección de papel	18.64	27.00

#### 3.2.8.3 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector transporte

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
transporte	cambio modal de carga de autotransporte a ferrocarril	7.29	-221.02
	norma de eficiencia energética para vehículos ligeros	51.46	-36.76
	mejora de eficiencia energética (subsector aéreo)	3.27	-0.35
	mejora del 5% de la eficiencia energética en motores (subsector marítimo)	0.72	-0.05
	sustitución de combustóleo por diesel (subsector marítimo)	0.68	0.02

### 3.2.8.4 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector cemento

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
cemento	modificar composición del cemento	7.31	-9.40
	uso de combustibles alternos	1.78	-4.79
	reducción de consumo de electricidad en la producción de cemento	1.69	5.48
	mejora del rendimiento energético en la producción de cemento	6.43	10.91

### 3.2.8.5 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
electricidad	eficiencia en generación eléctrica	1.83	-129.24
	eficiencia en transmisión eléctrica	3.65	-129.24
	geotérmica	9.06	-8.17
	nuclear	44.38	25.50
	rellenos sanitarios	11.18	0.28
	excreta de ganado	2.80	0.28
	eólica	18.65	13.51
	micro / mini hidráulica	6.12	17.24
	sustitución de focos incandescentes por fluorescente	3.08	87.49
	hidroeléctrica	18.22	87.49
	solar fotovoltaica	0.21	132.33
	solar térmica	0.43	393.91

### 3.2.8.6 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector petróleo y gas

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
petróleo y gas	cambio de sellos en compresores en CPG	0.85	-96.64
	optimización de calderas	1.24	-84.97
	incremento de eficiencia energética en refinерías	4.87	-82.65
	cogeneración de electricidad y vapor	5.20	2.00
	reducción de la quema de gas	6.80	51.06

### 3.2.8.7 Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector siderúrgico

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
siderurgia	cogeneración (plantas nuevas)	0.80	-115.00
	cogeneración (retrofit en plantas existentes)	0.80	-105.00
	mejora de eficiencia energética en equipos y procesos (EEI)	3.00	33.00
	vaciado directo	0.80	44.00
	mejora de eficiencia energética en equipos y procesos (EEI)	1.90	65.00
	aumento de reciclado de chatarra	5.10	127.00

### 3.2.9 La economía del cambio climático en México. Estrategias de mitigación para México (datos estimados gráficas).

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
agropecuario	intensidad	0.55	n.d.
	precios relativos	0.60	n.d.
residencial	intensidad	1.50	n.d.
	precios relativos	1.50	n.d.
industrial	intensidad	8.50	n.d.
	precios relativos	10.50	n.d.
transporte	intensidad	20.00	n.d.
	precios relativos	20.00	n.d.
comercial	intensidad	0.95	n.d.
	precios relativos	1.00	n.d.
energía	intensidad	5.00	n.d.
	precios relativos	2.00	n.d.

### 3.2.10 Mexico low-carbon study. México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC)

Sector	Opción	Emisiones acumuladas evitadas 2030 (M tCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Transport	Bus rapid transit	5.8	-141
Transport	Mass transit optimization	26.6	-126
Transport	Non-motorized transport	11.7	-91
Transport	Freight Logistics	21.1	-83
Transport	Urban densification	14.1	-69
Transport	Railway freight	19.9	-62
EE	Residential lighting	10.5	-38
Oil and gas	Gas flaring reduction	4	-37
EE	Industrial motors	0.9	-35
EE	Street lighting	2.5	-32
Electricity	Plant efficiency retrofit	6.9	-31
LUBIO	Charcoal kilns	0.4	-27
EE	Residential air conditioning	2.9	-25
EE	Municipal water pumping	0.5	-22
Transport	Vehicle standards	34.5	-20
EE	Federal building lighting	0	-19
LUBIO	Zero tillage corn	2	-16
EE	Solar water heating	5	-9
Electricity	Transmission and distribution efficiency	0.1	-8
LUBIO	Improved cookstoves	19.5	-8
Oil and gas	Dry seals in natural gas compressors	0.6	-6
Oil and gas	Cogeneration in PEMEX	7.7	-1
Electricity	Cogeneration in industry	15	-1
Electricity	Geothermal	49.4	1
Electricity	Fuelwood electricity	47.4	3
LUBIO	Palm oil biodiesel	1.9	5
LUBIO	Reduced deforestation and degradation	45.8	5
Electricity	Biogas	2.2	6
Electricity	Wind	21.6	6
Electricity	Bagasse cogeneration	2.5	8
Electricity	Small hydro	9.1	8
LUBIO	Afforestation (plantations)	13.8	8
Electricity	Fuelwood co-firing (20%)	4.6	10
LUBIO	Reforestation and restoration	22.2	11
LUBIO	Sugarcane ethanol	17.1	12
LUBIO	Sorghum ethanol	1.6	15
EE	Residential insulation	1.4	24
EE	Charcoal in steel making	24.1	34
Electricity	Concentrated solar power	0.3	43
LUBIO	Jatropha biodiesel	0.7	46
Oil and gas	Refinery renovation	1.8	49
EE	Higher refrigeration standards	4.2	49
Transport	Hybrid buses	5.2	57
Electricity	Solar PV	0.1	62



### 3.2.11 El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
servicios	climatización	0.372	-60
servicios	iluminación	1.1	-50
vivienda	eficiencia energética	2	-7.2
petróleo y gas	reducción 10% emisiones fugitivas	1.4	0
petróleo y gas	reducciones por agotamiento	18.4	0
transporte	eliminación de subsidios	77.3	0
tratamiento de aguas residuales	gestión de metano	35	0.4
forestal	deforestación	35.5	0.5
residuos municipales	rellenos sanitarios	27.5	3
industria	aumento de eficiencia energética	18	4
ganadería	digestión anaerobia, quemadores o generación de electricidad	32	10
electricidad	hidroeléctrica	1.2	25.4
electricidad	eólica	25	36.4
electricidad	geotérmica	5.1	38
industria	cemento	0	40
industria	siderurgia	0	40
industria	química	0	40
petróleo y gas	reducciones del 40% de las emisiones fugitivas	5.8	50
electricidad	nuclear	11.1	57.8

### 3.2.12 Energías renovables para el desarrollo sustentable en México

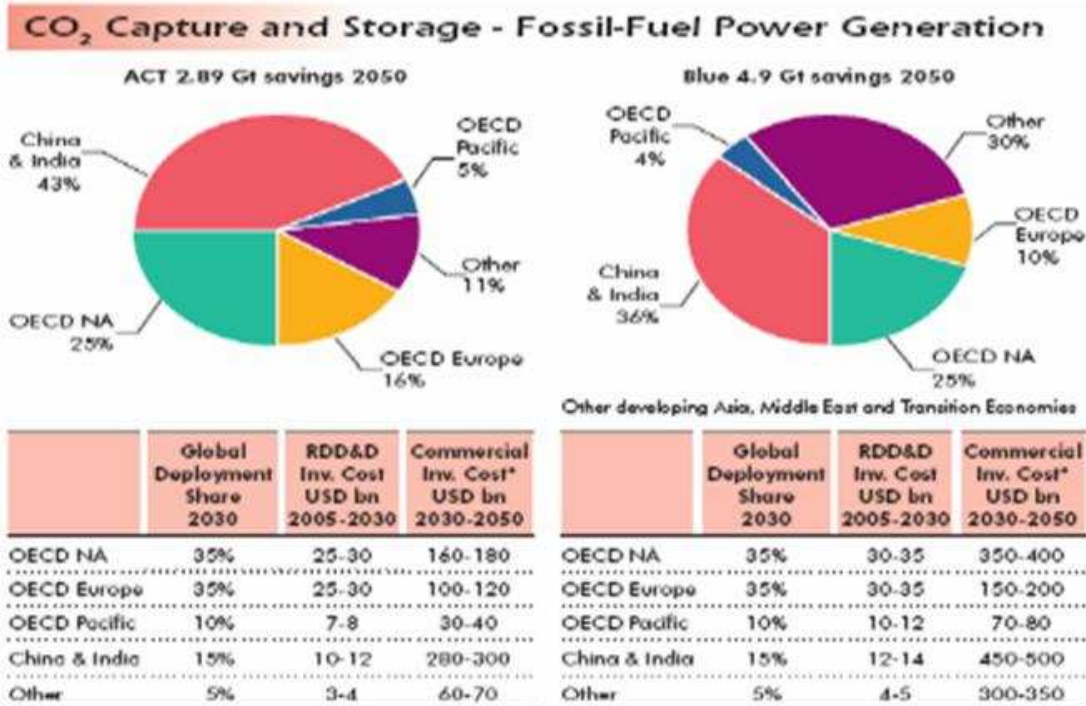
Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
energía	energía solar	capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos en 2003 de 15 MW: generando más de 8,000 MWh/año	capacidad instalada al 2013 25 MW con tecnología fotovoltaica y generar 14 GWh/año.
		capacidad instalada para sistemas termosolares en 2003: más de 570 mil m <sup>2</sup> de calentadores solares planos	contar para 2009 con un sistema híbrido de ciclo combinado acoplado a un campo solar de 25 MW.
	energía eólica	capacidad instalada en 2004: 3 MW que generaron 6 GWh de electricidad.	potencial superior a 40,000 MW
energía	energía hidráulica	capacidad instalada de 16 MW que generan un total de 67 GWh/año.	CONAE estimó en 2005 53,000 MW, para finales de 2006 de 142 MW adicionales. Ampliación de seis hidroeléctricas por una capacidad de 1,528 MW y una generación de 1,079 GWh/año.
	bioenergía	19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).	Se estima entre 2,635 y 3,771 Petajoules al año. 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético. Capacidad instalada de 803 MW para generar 4,507 MWh/año.
	energía geotérmica	capacidad instalada de 960 MW que generan más de 6,500 GWh/año.	El potencial geotérmico permitiría instalar otros 2,400 MW.

### 3.2.13 Prospectiva energética para el periodo 2014-2030 del sector energía de México

Sector	Crecimiento (Petajoules) 2030		Generación Eléctrica por Fuentes (%) 2030		Energía Necesaria para satisfacer la Demanda de Energía % (Petajoules/año) 2030		Parámetros de Inversión (miles de US\$ por MW de capacidad instalada) 2030		
	Escenario Alto	Escenario Bajo	Escenario Alto	Escenario Bajo	Escenario Alto	Escenario Bajo			
Energía	Petróleo	1.299	974	12,4	18,1	43,84	42,38	Hidroeléctricas	1.500
	Eléctrico	4.847	3.976					Geotermoeléctricas	1.123
	Transporte	3.927	2.857					Eololéctricas	1.500
	Industrial	2.613	1.850					Nuclear	1.500
	Residencial	1.997	1.412					Vapor + dual combustóleo	900
	Agropecuario	211	175					Carbón	1.250
	No Energético	528	427					Diesel	1.386
	Gas Natural			49	49	35	38	Ciclo combinado CFE y LFC gas natural	600
	Carbón			15,5	13,1	6	5,5	Ciclo combinado PIES gas natural	600
	Nuclear			10,5	8,5	4,6	4,1		
	Hidro			7,6	7	3,2	3,2		
	Fuentes Renovables			5	4,3				
	Biomasa					3,5	3,6		
	Geotermia					1,5	1,5		
	Eólica					1,2	0,8		
	Minihidráulica					0,46	0,42		
	Solar					0,7	0,5		
TOTAL	15.422	11.671	621 TWh	510 TWh					

### 3.2.14 Perspectivas tecnológicas en energía 2008. Escenarios y estrategias para el 2050

Resultados de la AIE para captura y almacenaje de CO<sub>2</sub>, considerando los países de: OECD NA (incluye a México), OECD Europe, OECD Pacific, China e India y Otros, manejando como escenarios ACT y BLUE con proyecciones al 2050.



### 3.2.15 OECD environmental outlook to 2030 (prospectiva medioambiental de la OECD para el 2030)

Este documento no presenta información que se pueda comparar con este estudio.

### 3.2.16 Revolución energética una perspectiva de energía sustentable para México

Sector	Opción	Emisiones evitadas 2030 acumuladas (MtCO <sub>2</sub> )	Costo marginal (US\$/tCeq)
Energía	Plantas de condensación	79	31
	Carbón	23.5	7.6
	Gas	52.1	23.7
	Combustóleo	3.6	0
	Diesel	0	0
	Cogeneración	34	23
Energía	Carbón	0	0
	Gas	34	23
	Combustóleo	0	0
	Emisiones de CO <sub>2</sub> por generación de electricidad y vapor	114	54
	Carbón	24	8
	Gas	86	46
	Combustóleo y Diesel	4	0
	Emisiones de CO <sub>2</sub> por Sector	369	141
	Industrial	42	26
	Otros Sectores	40	18
	Transporte	185	54
	Calefacción Directa	0	0
	Cogeneración de Electricidad y Calor	102	43
	Ahorros en eficiencia (en comparación con el Escenario de Referencia)	254.8	649.1

## 4 SÍNTESIS

Derivado del análisis de las medidas de mitigación planteadas por los documentos referidos, se obtiene la siguiente tabla resumen por sector:

Electricidad	rango emisiones		rango costos			
CMM	44,38	a	0,21	-129,24	a	393,91
MEDEC	49,40	a	0,10	-31,00	a	62,00
Quadri	25,00	a	25,40	25,40	a	57,80
Galindo	2,00	a	5,00			
McKinsey	82,20	a	0,40	-12,20	a	72,40
PECC				-12,00	a	31,00
Nacional	82,20	a	0,10	-129,24	a	393,91

cemento	rango emisiones		rango costos			
CMM	7,31	a	1,69	-38,68	a	10,91
Quadri				40,00		40,00
McKinsey	2,70	a	0,30	-13,80		66,40
Nacional	7,31	a	0,30	-38,68		66,40

siderurgia	rango emisiones		rango costos			
CMM	5,09	a	0,18	30,00	a	49,00
MEDEC	24,10	a	24,10	34,00	a	34,00
Quadri	0,00	a	0,00	40,00	a	40,00
McKinsey	4,90	a	0,30	-111,65	a	64,50
Nacional	24,10	a	0,00	-111,65	a	64,50

Azúcar	rango emisiones		rango costos			
CMM	2,84	a	0,18	-41,49	a	20,17
McKinsey	3,00	a	3,00	-43,40	a	-43,40
Nacional	3,00	a	0,18	-43,40	a	20,17

Celulosa y papel	rango emisiones		rango costos			
CMM	18,64	a	0,22	-15,00	a	27,00
McKinsey	4,90	a	4,90	49,30	a	49,30
Nacional	18,64	a	0,22	-15,00	a	49,30

Petroleo y gas	rango emisiones		rango costos			
CMM	6,80	a	0,85	-96,64	a	51,06
MEDEC	7,70	a	0,60	-37,00	a	49,00
Quadri	18,40	a	1,40	0,00	a	50,00
McKinsey	19,40	a	7,70	-83,93	a	4,80
PECC				-43,00	a	-1,00
Nacional	19,40	a	0,60	-96,64	a	51,06

Transporte	rango emisiones			rango costos		
CMM	51,46	a	0,68	-221,02	a	0,02
MEDEC	34,50	a	5,20	-141,00	a	57,00
Quadri	77,30	a	77,30	0,00	a	0,00
Galindo	20,00	a	20,00			
McKinsey	21,10	a	1,00	-35,13	a	80,00
PECC				-141,00	a	5,00
Nacional	77,30	a	0,68	-221,02	a	80,00

Vivienda	rango emisiones			rango costos		
CMM	52,17	a	6,34	3,54	a	79,47
MEDEC	10,50	a	1,40	-38,00	a	49,00
Quadri	2,00	a	2,00	-7,20	a	-7,20
Galindo	1,50	a	1,50			
McKinsey	8,70	a	0,00	-154,10	a	46,70
Nacional	52,17	a	0,00	-154,10	a	79,47

otras industr	rango emisiones			rango costos		
MEDEC	0,90	a	0,90	-35,00	a	-35,00
Quadri	18,00	a	18,00	4,00	a	4,00
Galindo	10,50	a	8,50			
McKinsey	8,90	a	1,00	-43,40	a	-15,40
Nacional	18,00	a	0,90	-43,40	a	4,00

forestal y agri	rango emisiones			rango costos		
MEDEC	45,80	a	0,40	-27,00	a	46,00
Quadri	35,50	a	32,00	0,50	a	10,00
Galindo	0,60	a	0,55			
McKinsey	38,10	a	1,30	-18,30	a	38,20
PECC				-72,00	a	8,00
Nacional	45,80	a	0,40	-72,00	a	46,00

servicios	rango emisiones			rango costos		
MEDEC	2,50	a		-32,00	a	-19,00
Quadri	1,10	a	0,37	-60,00	a	-50,00
Galindo	1,00	a	0,95			
PECC				-148,00	a	-31,00
Nacional	2,50	a	0,37	-148,00	a	-19,00

Residuos	rango emisiones			rango costos		
MEDEC	19,50	a	0,40	-27,00	a	-8,00
Quadri	27,50	a	27,50	3,00	a	3,00
McKinsey	44,10	a	2,20	-56,00	a	57,00
Nacional	44,10	a	0,40	-56,00	a	57,00



---

De la sumatoria de las tablas anteriores, en México existe un potencial de mitigación de 394.52 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> equivalente al año 2030, con un costo marginal promedio por tonelada reducida es del orden de 2.85 dólares. Esta reducción proviene fundamentalmente de una mejora en la eficiencia energética y modernización tecnológica de los principales sectores productivos y de servicios del país.

Adicionalmente, este potencial se puede ligar directamente a beneficios económicos por ahorro de energía pero implica también el logro de una mayor seguridad energética y la obtención de co-beneficios en materia de salud pública y protección a los ecosistemas, los cuales no han sido cuantificados. De cuantificarse las deseconomías ambientales del cambio climático, la salud pública y el daño a los ecosistemas, los costos serían negativos.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como puede observarse en los diversos documentos analizados, los esfuerzos de cuantificación de estrategias, proyectos, acciones o medidas de mitigación se concentraron en los principales sectores industriales y de servicios generadores de gases de efecto invernadero. Este enfoque de “Ley de Pareto” es motivado por la falta de recursos económicos para emprender desde el gobierno federal, un análisis sistémico y detallado de todos y cada uno de los sectores o actividades incluidos en los inventarios de gases de efecto invernadero, realizados con base en las metodologías establecidas por el Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático de la Naciones Unidas (IPCC).

Un esfuerzo semejante que sí se ha podido lograr en México, es el de los programas de control de la contaminación atmosférica, donde a lo largo de una década y media se han estudiado las fuentes emisoras de contaminantes criterio para instrumentar medidas preventivas y de control como especifica la legislación ambiental en la materia. Como en cambio climático no existe legislación temática, tampoco hay apertura programática para las secretarías de estado dedicadas a este importante tópico, restringiendo la capacidad institucional, económica y laboralmente, para enfrentar el conjunto de tareas necesarias para hacer las estimaciones referidas.

Ante esta situación, las secretarías de Energía, Medio Ambiente y Hacienda y Crédito Público, han realizado acuerdos con diversas instituciones y organismos internacionales, como el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, la GTZ de Alemania, el Centro Mario Molina, la Fundación Hewlett o el Consejo Británico, para apoyar financiera y técnicamente la realización de estudios de mitigación.

Del análisis cuantitativo de los documentos compilados se observan las siguientes circunstancias:

En México existe un potencial de mitigación cercano a las 400 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> equivalente al año 2030, derivadas principalmente de una mejora en la eficiencia energética de los principales sectores productivos y de servicios del país. El costo marginal promedio por tonelada reducida es del orden de 3 dólares. Este potencial está directamente ligado a beneficios económicos por ahorro de energía pero implica también el logro de una mayor seguridad energética y la obtención de co-beneficios en materia de salud pública y protección a los ecosistemas.

Las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero propuestas al sector energético para los próximos diez años, permitirían incrementar la eficiencia del sector, su rentabilidad económica, su competitividad global y su nivel tecnológico. En el largo plazo, la mayor parte de los documentos analizados coinciden que las estrategias a aplicar en el sector energía tendrían que sustentarse en una economía global donde la tonelada de carbono emitida tuviera un costo asociado, de lo contrario, habría desajustes regionales en el precio de los productos que crearían desventajas comerciales para los países menos emisores, particularmente para México.

Los estudios sectoriales con metodologías “*bottom-up*” son los idóneos para identificar las posibilidades tecnológicas y económicas de reducción de gases de efecto invernadero en nuestro país. En México, se han realizado este tipo de estudios sólo para los sectores de electricidad, petróleo y gas, cemento, siderúrgica, celulosa y papel, azúcar, transporte, residuos, vivienda de interés social y sector forestal.

De acuerdo con las categorías manejadas por el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI 2006), los sectores emisores ligados al sector energía que requieren de estudios específicos de mitigación son: la industria química y petroquímica, la industria de la construcción, minería, industria automotriz y de autopartes, la agroindustria, el sector primario (agrícola, pecuario y pesquero) y el sector terciario (turismo, telecomunicaciones y comercio), principalmente.



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. 05120

México, D.F.

T: (+55) 9177.1670

F: (+55) 9177.1670 ext 114

[www.centromariomolina.org](http://www.centromariomolina.org)

