Escaneado

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Programa de Investigación en Cambio Climático UNAM

Evaluación del Programa Especial de Cambio Climático para escenario de emisión y mitigación de gases de efecto invernadero en la categoría de energía

Informe final que presenta el Instituto de Ingeniería de la UNAM al Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM

Claudia Sheinbaum Pardo

Diciembre 2011

Contenido

1. Introducción 4

2. Revisión del Programa Especial de Cambio Climático 9

3. Modelo de Energía y Emisiones para México 13

4. Escenario base o tendencial 18

4.1 Escenario tendencial MEEM 18

4.1.1 Sector residencial 19

4.1.2 Sectores agropecuario, comercial, público y consumo propio 20

4.1.3 Sector industrial 21

4.1.4 Electricidad 22

4.2 Diferencias entre los resultados del PECC y del MEEM para el escenario base 24

5. Escenario de mitigación 26

5.1 Escenario de mitigación MEEM 26

5.2 Diferencias entre los resultados del PECC y del MEEM para el escenario de mitigación 35

6. Conclusiones 38

Referencias 41

Indice de Tablas

Tabla 1.1 Países con mayores emisiones de CO_2 producidas por la quema de combustibles fósiles 7
Tabla 2.1. Metas esperadas de mitigación para el 2012 para quema de combustibles y emisiones fugitivas 12
Tabla 3.1 Indicadores de actividad, estructura e intensidad energética del MEEM para los sectores de uso final para la evaluación del PECC 16
Tabla 3.2 Incremento promedio anual del PIB 2010-2030 16
Tabla 3.3 Incremento promedio anual de indicadores de actividad para sector residencial y transporte 17
Tabla 4.1 Consumo de GLP y GN por usos finales. Resultados del MEEM-Línea base 19
Tabla 4.2 Consumo de electricidad en el sector residencial. Resultados del MEEM-Línea base 20
Tabla 4.3 Emisiones de GEI sectores comercial, agropecuario y consumo propio del sector energético. Resultados del MEEM-línea base 20
Tabla 4.4 Demanda de energía eléctrica sectores comercial, agropecuario y consumo propio. Resultados del MEEM-Línea base 21
Tabla 4.5 Emisiones de GEI sector industrial por rama. Resultados del MEEM-Línea base 21
Tabla 4.6 Emisiones de GEI sector industrial por combustible. Resultados del MEEM-Línea base 22
Tabla 4.7 Demanda de electricidad del sector industrial. Resultados del MEEM-Línea base 22
Tabla 4.8 Generación de electricidad por tecnología. Resultados del MEEM-Escenario base (sin autoabastecimiento) 23
Tabla 4.9 Emisiones de GEI, Generación de Electricidad (servicio público y autoabastecimiento). Resultados del MEEM-Escenario base 23
Tabla 4.10 Emisiones de GEI de acuerdo con el PECC (Mt CO_2e) 24
Tabla 4.11 Emisiones de GEI de acuerdo con el MEEM-Línea base 24
Tabla 5.1 Opciones de mitigación y consideraciones para su aplicación evaluadas con el MEEM 27
Tabla 5.2 Reducción de emisiones para cada medida y tecnología al año 2030 (respecto al escenario base). $MtCO_2eq$ 28
Tabla 5.3 Emisiones de GEI ($MtCO_2eq$) para México con incorporación de medidas y tecnologías de mitigación 29
Tabla 5.4 Diferencia en costos unitarios de inversión y operación para cada escenario 32
Tabla 5.5 Reducción de emisiones y costos al 2030 de acuerdo con el PECC 36
Tabla 5.6 Reducción de emisiones y costos al 2030 de acuerdo con el MEEM 37

Índice de Figuras

Figura 2.1. Trayectorias centrales de México de las emisiones tendenciales 2000–2050 y de las reducciones requeridas en el escenario de mitigación de acuerdo con el PECC 10
Figura 2.2. Emisiones tendenciales de México 2020, 2030 y 2050 y reducciones requeridas 11
Figura 4.1 Emisiones de GEI por sector quema de combustibles fósiles y fugitivas..... 18
Resultados del MEEM-Línea base 18
Figura 4.2 Emisiones de GEI por combustible, quema de combustibles fósiles y fugitivas. Resultados del MEEM-Línea base 19
Figura 5.1 Emisiones de GEI para diversas tecnologías de mitigación..... 30
Figura 5.3 Curva incremental de costos 2012 33
Figura. 5.4 Curva incremental de costos 2030 34

1. Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por la actividad humana están generando una elevación en la temperatura del planeta y con ello, cambios que pueden afectar de manera peligrosa el sistema climático, estimulando cambios en la precipitación, elevación del nivel del mar, aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos.

Para afrontar este problema, las Naciones Unidas han venido tomando una serie de acciones. En 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) que es una organización de científicos de todo el mundo que fue establecida conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas. Desde 1992 esta organización, a la que pertenecen más de 2000 científicos del mundo, ha sido un importante apoyo para la elaboración de las políticas internacionales. En el año 2007, el IPCC publicó su cuarto reporte y por su contribución a este tema, obtuvo el premio nobel de la Paz. En la actualidad el IPCC prepara el V Reporte a ser publicado en 2014.

De acuerdo con el último reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático publicado en 2007 (Pachauri y Reisinger, 2007):

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. De los 12 últimos años (1995-2006), las temperaturas de 11 de ellos, figuran entre las 12 más altas en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial, que se realizan desde 1850.

Entre el año 1970 y el 2004, las emisiones de los GEI crecieron en un 70%. Sin embargo, las emisiones de CO_2 asociadas al consumo de combustibles fósiles lo hicieron en un 80%. La concentración de este gas en la atmósfera se incrementó de 290 partes por

millón (ppm) de la era preindustrial a 379 ppm en 2005. La fuente primaria del incremento en las concentraciones de GEI es la quema de combustibles fósiles.

En promedio, el nivel de los océanos mundiales ha aumentado desde 1961 en 1.8 mm/año [entre1.3 y 2.3], y desde 1993 en 3.1 mm/año [entre 2.4 y 3.8], por efecto de la dilatación térmica, del deshielo de los glaciares, los casquetes de hielo y los mantos de hielo polares.

Entre 1900 y 2005, la precipitación pluvial aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa septentrional, y Asia septentrional y central, aunque disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia. Los glaciares montañosos y la cobertura de hielo han disminuido en ambos hemisferios.

Los escenarios futuros muestran que de seguir las tendencias en el incremento de emisiones de GEI, la temperatura se incrementará entre 2000 y 2100 de 1.8°C a 4°C (entre los rangos de 1.1 y 2.9°C a 2.4 y 6.4°C según el escenario) y el nivel del mar se incrementará de 0.28m a 0.43m (entre los rangos de 0.18 y 0.38m a 0.26 y 0.59m). Los impactos del aumento en la temperatura de la superficie de la Tierra y el nivel del mar tendrán efectos en la precipitación pluvial (dependiendo de la región del planeta), incidencia de fenómenos extremos como ciclones, y por ende en prácticamente todas las actividades económicas, particularmente la agropecuaria; implicaciones en la disponibilidad de agua potable, cambios en los vectores que transmiten enfermedades y consecuencias sociales, como la migración.

Por otro lado, en el año de 1994, se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC; UNFCCC por sus siglas en inglés) como el marco principal para promover las respuestas internacionales al cambio climático[1]. Desde sus inicios, la Convención Marco determinó la necesidad de afrontar el cambio climático desde una perspectiva de equidad entre naciones, pero reconociendo responsabilidades diferenciadas. Como eje central para la mitigación de las emisiones de GEI, en 1997 fue propuesto por el CMNUCC el Protocolo de Kioto, el cual entró en vigor en 2005. El

[1] La CMNUCC tiene una reunión anual en la llamada Conferencia de las Partes (COP).

protocolo establece responsabilidades comunes pero diferenciadas de acuerdo a las emisiones de GEI de los diversos países. De esta forma, establece límites de emisión en promedio 5% menores a los de 1990, para el año 2012 para los países industrializados (Anexo 1 del protocolo de Kioto). Para apoyar esta reducción, puso en marcha diversos mecanismos de mercado tendientes a apoyar la reducción de emisiones de carbono; como la implementación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL y CDM por sus siglas en inglés).

En la actualidad, la CMNUCC está buscando un nuevo acuerdo internacional post-Kioto ya que éste termina su vigencia en el año 2012. Uno de los elementos centrales en la discusión internacional es la emergencia económica de China e India y otros países emergentes, que ha venido acompañada de un importante incremento en sus emisiones de GEI. Para 2010, las emisiones de estos países superaron las emisiones totales de GEI de los países del Anexo 1 y China se convirtió en el país con las mayores emisiones. Sin embargo, las emisiones per cápita seguirán siendo mucho más elevadas en los países del Anexo 1. Esta situación mantiene en debate las negociaciones internacionales respecto al Cambio Climático y los compromisos de mitigación de los diferentes países.

A la fecha, aun no se ha establecido un acuerdo que sustituya en su magnitud al Protocolo de Kioto. Algunos compromisos importantes tomados en las Conferencias de las Partes (COP 15 y COP 16) de la CMNUCC es que debe encontrarse un acuerdo internacional que evite que haya un calentamiento mayor a los 2°C durante este siglo. Asimismo, existe una variedad de acuerdos sectoriales y de financiamiento que pueden revisarse en la página electrónica de la UNFCC (http://unfccc.int).

En el año 2008, las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO_2), principal gas de efecto invernadero, producidas por la quema de combustibles fósiles alcanzaron 29,454 Tg de CO_2, lo que representa el 81% de las emisiones totales de CO_2 equivalente, excluyendo las emisiones y captura por los cambios en el uso de la tierra (AIE, 2011; CMNUCC, 2011).

Para ese mismo, año, las emisiones relacionadas con la quema de combustibles fósiles en México alcanzaron 7.8 Tg de CO_2 , el 1.4% de las emisiones mundiales (AIE,

2011). Aun así, México continua siendo el decimo segundo país responsable de las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles en el mundo (Tabla 1.1).

México no tiene compromisos de reducción de emisiones de GEI dentro del protocolo de Kioto, sin embargo, no es claro cuál será el compromiso que México deberá adquirir en el nuevo esquema internacional. En la última década, México ha venido cumpliendo con los compromisos en el protocolo de Kioto, de elaborar los inventarios de emisiones de GEI y las llamadas Comunicaciones Nacionales.

Tabla 1.1 Países con mayores emisiones de CO_2 producidas por la quema de combustibles fósiles
Millones de ton de CO_2 (Tg de CO2)

	2008	2009
China	6506.8	6831.6
Estados Unidos	5586.8	5195.0
Federación Rusa	1593.4	1532.6
India	1431.3	1585.8
Japón	1152.6	1092.9
Alemania	804.1	750.2
Canada	551.1	520.7
Irán	522.7	533.2
Reino Unido	512.1	465.8
Korea	501.7	515.5
Italia	435.1	389.3
México	403.7	399.7
Australia	393.1	394.9
Sudáfrica	388.4	369.4
Saudi Arabia	386.6	410.5
Francia	370.6	354.3
Brasil	361.5	337.8
Indonesia	343.5	376.3
España	317.6	283.4
Total	22562.6	22338.7
Mundo	29454.0	28999.4

Fuente: (AIE, 2011)

En su reunión en Bali, la CMNUCC acordó la intensificación de la labor nacional e internacional relativa a la mitigación del cambio climático, incluido, entre otras cosas, el examen de: i) Compromisos o medidas de mitigación mensurables, notificables y verificables adecuados a cada país, incluidos objetivos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones, por todas las Partes que son países desarrollados, asegurando la comparabilidad de las actividades entre sí y teniendo en cuenta las diferencias en las circunstancias nacionales; ii) Medidas de mitigación adecuadas a cada país por las Partes

que son países en desarrollo en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por tecnologías, financiación y actividades de fomento de la capacidad, de manera mensurable, notificable y verificable.

En este marco y basado en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el gobierno mexicano publicó en el año de 2009, el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), donde se establecen escenarios de reducción de emisiones de GEI, así como medidas de adaptación al cambio climático.

El objetivo del presente estudio es evaluar el PECC en el área de la mitigación de emisiones de GEI derivadas de la quema de combustibles fósiles y emisiones fugitivas. Para ello, los resultados de corto y mediano plazo (2012 y 2030) fueron evaluados con el Modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM), desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. El reporte se divide en cuatro partes. Después de la introducción, la segunda parte presenta un resumen del PECC para el tema de la mitigación de emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles y explica algunas de las contradicciones y carencias de este programa. La tercera sección del reporte resume el MEEM. La cuarta especifica las diferencias en el escenario base entre los resultados del PECC y del MEEM y presenta los resultados del MEEM. La quinta parte del reporte debate las diferencias en los escenarios de mitigación entre el PECC y el MEEM. La última sección del trabajo resume las conclusiones más importantes.

2. Revisión del Programa Especial de Cambio Climático

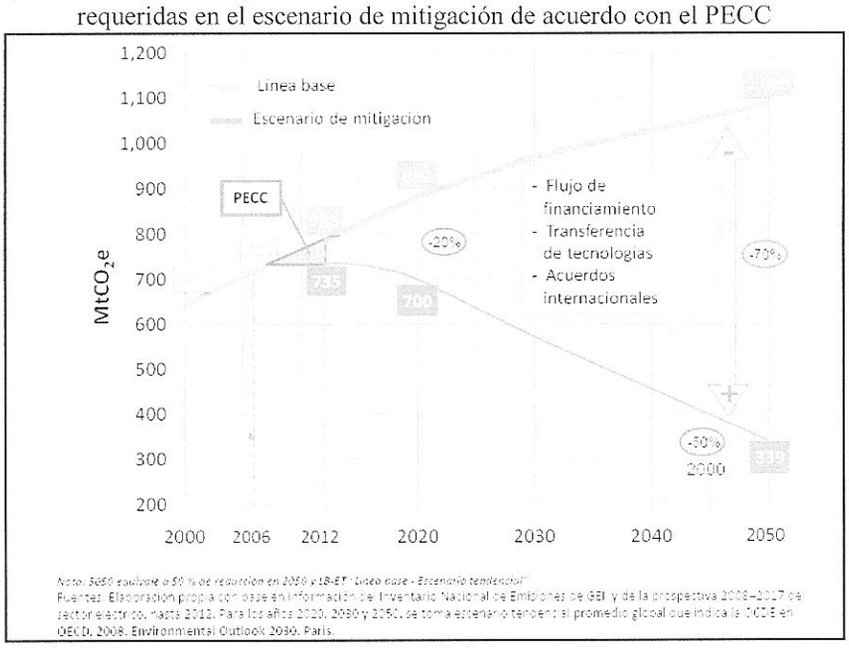
El Programa Especial de Cambio Climático fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009 y elaborado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, conformada por los titulares las Secretarías de Relaciones Exteriores; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación; y Comunicaciones y Transportes (DOF, 2005; DOF, 2009). Su objetivo principal fue el de presentar un documento con las metas del país en el tema de Cambio Climático para la COP 15 a celebrarse ese año en Copenhague.

El PECC está dividido en cuatro capítulos: La visión de largo plazo, con sus sub-secciones de mitigación y adaptación al cambio climático; la mitigación; la adaptación y elementos de política transversal. En la visión de largo plazo en el tema de mitigación, el documento señala una cifra de reducción deseable de las emisiones de GEI para México *de 50% para el 2050, respecto al 2000.* Además establece que en *la trayectoria deseable de reducción, las emisiones mexicanas tendrían que alcanzar un punto de inflexión durante la segunda década de este siglo, para después descender paulatinamente hasta alcanzar el nivel indicado en 2050.*

De acuerdo con el primer capítulo del PECC, la línea base de emisiones de México, o escenario tendencial, *se construye con base en datos del Inventario Nacional de Emisiones de GEI (INEGEI) y de las Prospectivas 2008–2017 del Sector Energía (electricidad, petrolíferos, gas natural y gas LP)* además,... *para los años 2020, 2030 y 2050, la línea base indica 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 (Capítulo 2) y, para el periodo posterior, es congruente con el ritmo promedio global de de crecimiento que suponen las proyecciones de la OCDE, en la trayectoria hacia una eventual estabilización de las concentraciones de GEI a 450 ppm de CO2e.* La Figura 2.1 (Figura 1.2 del PECC) muestra esta tendencia.

En el PECC se afirma también, que e*l esfuerzo de mitigación de México, respecto del escenario tendencial, se orienta hacia la reducción de alrededor de 400 MtCO2e en 2030 y hasta de 750 MtCO2e en 2050.* La Figura 2.2 (Figura 1.5 *en el PECC) muestra la reducción por sectores.*

Figura 2.1. Trayectorias centrales de México de las emisiones tendenciales 2000–2050 y de las reducciones requeridas en el escenario de mitigación de acuerdo con el PECC

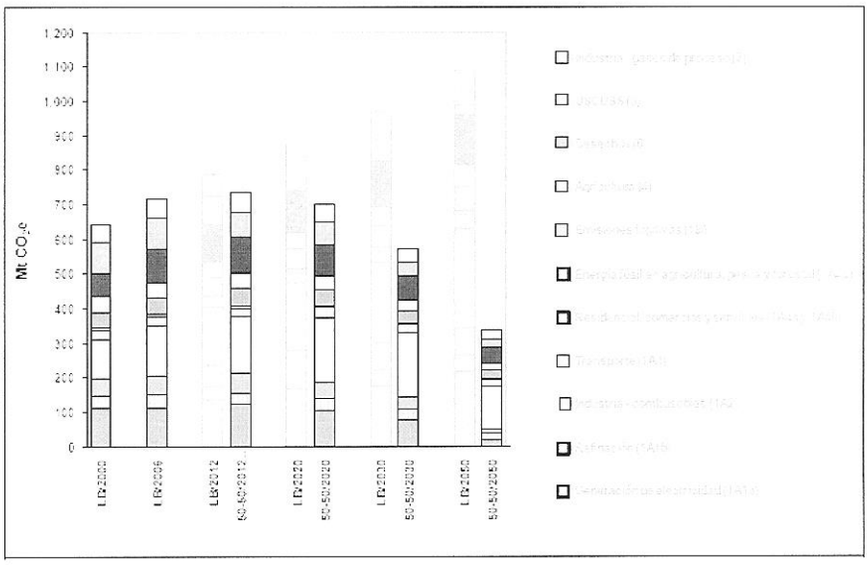


Fuente: PECC (DOF, 2009)

El PECC no presenta claramente las cifras de las emisiones por sectores para los diversos años, ni para el escenario tendencial ni para el escenario de mitigación. Solamente especifica los valores totales. Por otro lado, el PECC no explica con base en qué metodología fueron estimados los escenarios[2]. De la Figura 2.2 puede inferirse que para los sectores que incluyen la quema de combustibles fósiles, las emisiones estimadas en la línea o escenario base (LB) para el año 2012 alcanzarán una cifra cercana a los 430 $MtCO_2e$, mientras que las emisiones fugitivas cerca de 60 $MtCO_2e$. Para el año 2030, estas emisiones alcanzarán, también para la línea base, cerca de 590 $MtCO_2e$ y 70 $MtCO_2e$, respectivamente.

[2] Solamente cita algunas referencias para el caso de la valoración de algunas cifras de mitigación, así como sus costos, en particular UNDP-WB (2008) y McKinsey (2008)

Figura 2.2. Emisiones tendenciales de México 2020, 2030 y 2050 y reducciones requeridas en la trayectoria de mitigación hacia 2.8 tCO2e per cápita en 2050 presentadas en el PECC



Fuente: INEGEI 1990-2002; Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE/SEMARNAT; *Prospectiva Ambiental 2030 de la OCDE* (op. cit.). Para estimar las emisiones al 2012, 2020, 2030 y 2050 se aplican las tasas de crecimiento promedio global y de reducción promedio global utilizadas por la OCDE.

Fuente: PECC (2009)

De acuerdo con la meta de reducción de largo plazo propuesta por el PECC para el año 2030, los mayores potenciales de reducción corresponden a energía (146 MtCO2e, incluye generación y consumo de electricidad; así como petróleo y gas), industria (77 MtCO2e, incluyen el consumo de combustibles fósiles y los procesos industriales emisores) y transporte (51 MtCO2e). En el capítulo de mitigación, el PECC presenta la estrategia de disminución de emisiones hacia el año 2012. El detalle para cada categoría se presenta en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Metas esperadas de mitigación para el 2012 para quema de combustibles y emisiones fugitivas (de acuerdo con medidas específicas del PECC)

Categoría	$MtCO_2e$/año
Petróleo y gas	**9.94**
Inyección de gas amargo en Cantarell	6.90
Proyectos de eficiencia térmica en Pemex	0.60
Proyectos de eficiencia operativa en Pemex	1.24
Planta de cogeneración en el CPG Nuevo Pemex	0.90
Emisiones fugitivas en transporte y distribución de gas natural	0.30
Fuentes renovables para usos térmicos	**0.39**
1.7 millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua	0.39
Biocombustibles (no especifica metas)	
Electricidad	**1.17**
Proyecto Manzanillo CFE	1.10
Generación distribuida en la ZMVM	0.07
Reducir las fugas de SF6 en etrans. y dist. de electricidad (sin meta específica)	
Fuentes renovables para generación eléctrica pública	**2.35**
Concluir en 2012 la construcción de la central hidroeléctrica La Yesca	0.81
Generación de energía eléctrica con centrales eólicas de CFE (507 MW al 2012)	1.20
Generación de energía eléctrica con centrales geotérmicas de CFE (153 MW al 2012	0.24
Producción de vapor con energía solar en Agua Prieta II de CFE (5 MW)	0.10
Fuentes renovables para generación eléctrica privada	**4.18**
Autoabastecimiento, hasta por 1,957 MW	3.65
Eficiencia y fuentes renovables en sector agrícola	0.53
Transporte	**5.74**
Norma de rendimiento vehicular (no especifica meta)	
Programa de transporte de CONUEE	0.40
Mejoras en transporte de carga-SEMARNAT	0.90
Construcción de 38 tramos carreteros nuevos	1.20
Construcción de 18 libramientos nuevos	0.10
Chatarrización de 15,100 vehículos del autotransporte federal	1.10
Ferrocarril en el transporte terrestre de carga (del 26% al 28.3% en términos de ton-km	1.60
Impulsar BRT (no especifica metas)	
Tren suburbano ZMVM	0.17
Retirar del inventario pesquero 400 embarcaciones camaroneras	0.22
sustitución de 15,500 motores de embarcaciones pesqueras	0.05
Residencial, comercial y público	**5.59**
Ahorrar energía eléctrica en comercios y municipios, 46 GWh 2012	0.03
Sustitución de 1,928,916 refrigeradores y equipos de AC. Sustitución de 47.2 millones de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas u otras de mayor eficiencia	2.68
Hipoteca verde	1.20
Programa de ahorro de energía eléctrica en la APF	0.08
Estufas eficientes de leña (1)	1.60
Industria	**0.52**
Ahorro de 176 GWh en PyMES-programa FIDE	0.12
Programas de CONUEE para industria	0.40
TOTAL	**29.88**

(1) Debería contemplarse en categoría forestal y CUT. Fuente: PECC (2009)

3. Modelo de Energía y Emisiones para México

El Modelo de Energía y de Emisiones para México (MEEEM) fue creado por el grupo de energía y ambiente del Instituto de Ingeniería de la UNAM y se ha utilizado para la evaluación de escenarios de emisiones de GEI y contaminantes locales tanto a nivel nacional, como local (Sheinbaum y Masera, 2000; Sheinbaum et al, 2008, Sheinbaum et al, 2009). Puede definirse como un modelo de simulación contable de usos finales, que estima el consumo de energía y emisiones a partir de la demanda, para diversos escenarios tecnológicos y analiza la diferencia en emisiones y costos financieros asociados a un escenario base y a escenarios de mitigación de GEI. Las variables macroeconómicas son exógenas al modelo.

El MEEEM tiene sus orígenes en el modelo STAIR desarrollado en el Lawrence Berkeley National Laboratory (Kettof, et. al., 1991) y es similar al modelo DEFENDUS desarrollado en la India (Reddy, 1995) y al modelo LEAP desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI, 2011). El MEEEM refleja una concepción "de abajo hacia arriba" de la relación entre los servicios, la tecnología, la transformación y la oferta energética.

Para cualquier modelo, la construcción de uno o varios escenarios debe partir de lo que llamamos las emisiones o el inventario de emisiones para el año base. En este caso, el año base es 2008. El escenario base considera las emisiones futuras de acuerdo con las tendencias históricas, con acciones de mitigación que ya han sido concertadas previo al año base y con hipótesis exógenas (que son variables establecidas fuera del modelo. Las hipótesis exógenas se refieren a variables como el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), la estructura del PIB, el crecimiento de la población y de los hogares y dependen de la tendencia histórica y de suposiciones externas. El escenario base será la proyección a partir de la cual podrán determinarse escenarios de reducción o mitigación de emisiones.

Cada categoría o sector de emisión (energía, industria, uso de suelo y desechos) tiene una metodología específica de cálculo de emisiones a futuro, la cual, al igual que los

inventarios de emisión será tan compleja como desagregada y específica sea la información con la cual se cuenta.

El escenario o escenarios de mitigación se construyen a partir del escenario base, pero considerando acciones de reducción de emisiones de GEI como por ejemplo la incorporación acelerada de tecnologías de uso eficiente de la energía y de fuentes renovables de energía. Cada acción de mitigación representa una reducción de emisiones frente al escenario base. La cuantificación de la reducción de emisiones del escenario de mitigación, así como sus costos, se hace explícita en una comparación frente al escenario tendencial o base.

En el caso del MEEM los escenarios de mitigación están relacionados con un escenario base que refleja intensidades energéticas constantes. En adición al modelo STAIR, el MEEEM incluye opciones en la transformación y suministro de la energía, así como la diferencia en el costo nivelado entre el escenario base y el de mitigación.

En el caso del módulo de demanda, que es el más relevante para la construcción del modelo, se consideran siete sectores de consumo de la energía: agropecuario, residencial, comercial, servicios, consumo propio del sector energético, industrial y transporte. Para cada sector es posible definir un indicador de actividad sectorial agregada. A cada actividad específica corresponde una medida de la intensidad energética o uso de la energía por unidad de actividad (Goldemebrg et al., 1987, Schipper et al., 1992; Reddy, 1995). En términos formales, sea A_{it} el nivel agregado de actividad en el sector i en el año t, S_{ijtk} (j= 1,2,...n) y k (k=1,2.....m) los niveles de la actividad específica j para cada energético k, y I_{jkt} la intensidad energética de la actividad específica j para el energético k. El uso de la energía en el sector i en el año t está dado por:

$$E_{it} = Ait \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} S_{ijkt} \; I_{ijkt}$$

Y la demanda total de energía en el año t (ETt), es la suma de la demanda energética de los diferentes sectores i (i= 1,2.....s)

$$ETt = \sum_{i=1}^{s} Eit$$

La desagregación de la demanda energética depende de la disponibilidad de la información. La Tabla 3.1 muestra la actividad, intensidad energética y estructura para cada sector utilizada para este estudio. La demanda de electricidad de cada sector se agrega en el modulo eléctrico. La oferta de generación eléctrica para el año 2030 en el escenario base, se construye a partir de los escenarios propuestos por el Programa de Obras del Sector Eléctrico de CFE para 2011-2025 (CFE, 2011), con excepción de las diversas medidas de mitigación contempladas en el PECC para generación eléctrica y que fueron incluidas en el POISE 2011-2025. Para esas tecnologías y para las denominadas por CFE como nueva tecnología de generación (NTG) y nueva generación limpia (NGL) se asume que la demanda será cubierta con plantas de ciclo combinado.

El incremento del PIB para cada sector se asume que es el mismo que en el periodo 1993-2008 (Tabla 3.2). El incremento promedio anual en el número de hogares es equivalente también al del periodo 1993-2008. El incremento poblacional es el reportado por CONAPO (121 millones para 2030). Para el autotransporte se considera que la tasa anual de crecimiento promedio de las ventas de vehículos de gasolina y diesel es la misma que para el periodo 1994-2008. El mismo periodo es considerado para el incremento en vuelos y se considera que se mantiene constante a su valor de 2008, el número de pass-km y ton-km del ferrocarril (Tabla 3.3).

Las emisiones de GEI son estimadas de acuerdo a la metodología del IPCC de 2006 en su Nivel o Tier 1 (IPCC, 2006). Las emisiones por electricidad se contabilizan en la generación. La información sobre actividad, intensidades energéticas proviene de diversas fuentes (INEGI, 2011, CONAPO, 2011, Rosas et al. 2010; Sheinbaum y Chávez, 2011, Johnson et al., 2009).

Tabla 3.1 Indicadores de actividad, estructura e intensidad energética del MEEM para los sectores de uso final para la evaluación del PECC

Sector	Actividad	Estructura	Intensidad energética o consumo unitario de energía
Residencial	Hogares	Equipos por hogar (estufa de gas, refrigerador, iluminación, lavadora, etc.)	Energía/equipo para cada combustible
Comercial	PIB comercial		E/PIB comercial para cada combustible
Agropecuario	PIB agropecuario		E/PIB agropecuario para cada combustible
Servicios	Población		E/cap para cada combustible
Industrial	PIB industrial	% de participación de cada rama industrial en el PIB industrial	E/PIB para cada industria para cada combustible
Consumo propio	PIB petróleo y electricidad		E sector /PIB
Autotransporte	Número de vehículos por tipo de combustible		E/vehículo-km para cada combustible
Aviación	Vuelos		E/vuelos para cada combustible
Ferrocarril	Pass-kilómetros; ton-km		Energía/pass-km y E/ton-km

Tabla 3.2 Incremento promedio anual del PIB 2010-2030

	%
Comercial	4.7
Agropecuario	2.1
Consumo propio	2.5
Industrial	
Siderurgia	4.0
Química básica	1.5
Azúcar	1.1
Petroquímica	-2.3
Cemento	1.6
Celulosa y papel	3.1
Vidrio	2.1
Cerveza y malta	4.9
Fertilizantes	-4.9
Tabaco	-1.1
Aguas envasadas	3.7
Automotriz	5.5
Hule	1.7
Aluminio	3.0
Otras	2.2

Tabla 3.3 Incremento promedio anual de indicadores de actividad para sector residencial y transporte

	%
Vehículo-km gasolina	3.5
Vehículo- km diesel	0.5
Vuelos	2.6
Ton-km ferrcarril	0.0
Pas-km ferrcarril	0.0
Hogares	2.4

Los costos de mitigación o de emisión de CO_2 evitado, de acuerdo con el MEEM no son más que la diferencia entre los costos de inversión, operación y mantenimiento del escenario base o tendencial y los costos de inversión, operación y mantenimiento de la tecnología de mitigación de GEI, considerando el valor del dinero en el tiempo (como anualidad) y la vida de la tecnología; dividido entre las emisiones evitadas gracias al uso de la tecnología de mitigación para cada año.

$$CCE_i = [A_{mi} - A_c] / [CO2_c - CO2_{mi}]$$

Donde $[A_{mi} - A_{bl}]$ es la diferencia en "costo anual" del costo de la tecnología de mitigación (inversión, operación y mantenimiento) y el costo de la tecnología convencional (inversión, operación y mantenimiento) y $[CO2_c - CO2_m]$ es la diferencia entre las emisiones anuales de la tecnología convencional y la de mitigación. Para el análisis se considera una tasa de descuento del 12%.

La mitigación y los costos se calculan para las tecnologías consideradas en el PECC para el año 2012 y el 2030 y otras opciones tecnológicas. Los costos de las diversas tecnologías y para generación eléctrica provienen de Johnson et al., 2009; IEA, 2010; Sheinbaum et al., 2011.

4. Escenario base o tendencial

4.1 Escenario tendencial MEEM

En esta sección se presentan los resultados del MEEM para el escenario tendencial hasta 2030. De acuerdo con las consideraciones detalladas en la sección anterior, las emisiones de GEI asociadas a la quema de combustibles fósiles alcanzarán 748.6 $MtCO_2e$ en 2030, 76% más que en 2008, mientras que las emisiones fugitivas se incrementarán de 66 a 79 $MtCO_2e$ en el mismo periodo. El CO_2 representará el 98% de las emisiones por quema de combustibles fósiles (al igual que en 2008) y el 89% incluyendo las emisiones fugitivas (85% en 2008). Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran las emisiones por sector y por combustible. Claramente, el incremento del autotransporte de gasolina y diesel son los de mayor impacto en las emisiones de GEI, seguido por la generación de electricidad, la industria y las emisiones fugitivas.

Figura 4.1 Emisiones de GEI por sector quema de combustibles fósiles y fugitivas
Resultados del MEEM-Línea base

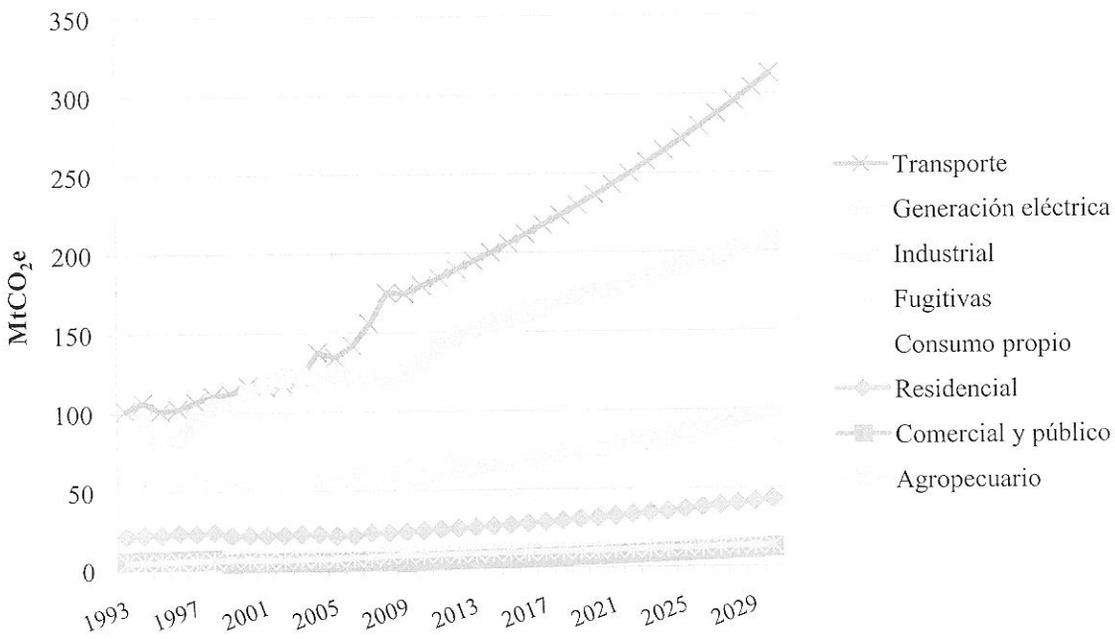
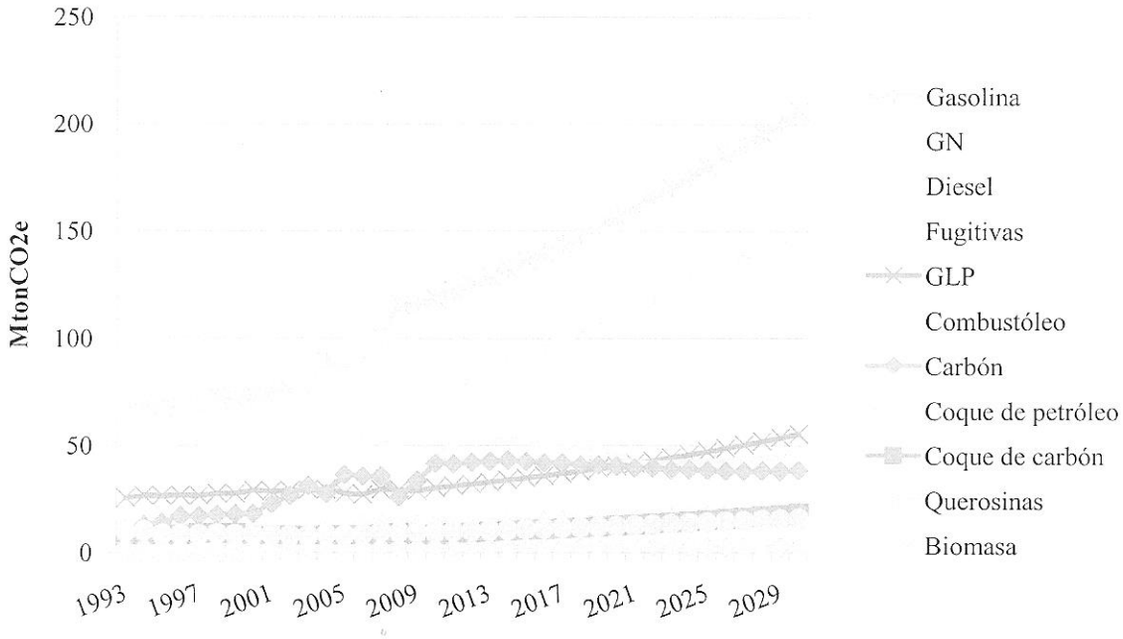


Figura 4.2 Emisiones de GEI por combustible, quema de combustibles fósiles y fugitivas
Resultados del MEEM-Línea base



Biomasa corresponde a las emisiones de CH_4 y N_2O de la leña y el bagazo de caña

4.1.1 Sector residencial

Las emisiones del sector residencial para el año base (sin electricidad) se incrementan de 23.0 $MtCO_2e$ en 2008 a 43.0 $MtCO_2e$ en 2030. La Tabla 4.1 presenta el consumo de combustibles por usos finales. El incremento se debe principalmente al aumento esperado en el número de hogares (27.9 millones en 2008 a 47.6 millones en 2030), así como el incremento en la saturación de estufas y calentadores de agua.

Tabla 4.1 Consumo de GLP y GN por usos finales.
Resultados del MEEM-Línea base
(PJ)

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Cocción GLP	172.56	163.09	171.23	179.79	218.49	278.78
Cocción GN	18.76	16.62	17.45	18.32	22.26	28.40
Calentamiento de agua GLP	84.02	91.02	99.93	109.71	159.38	254.21
Calentamiento de agua GN	9.14	9.27	10.18	11.18	16.24	25.90
Otros GLP	15.70	47.35	48.30	49.27	53.36	58.94
Otros GN	1.71	4.82	4.92	5.02	5.44	6.00

La demanda de electricidad en el sector residencial aumenta de 47.5 TWh en 2008 a 72.8 TWh en 2030. Esto se debe al incremento en el número de hogares y en la saturación de equipos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Consumo de electricidad en el sector residencial.
Resultados del MEEM-Línea base
(TWh)

TWh	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Iluminación	9.70	10.41	11.15	11.94	15.85	22.56
Refrigerador	13.41	14.51	15.08	14.82	14.15	15.90
TV	6.13	6.77	7.03	7.31	8.54	10.36
Lavadora de ropa	2.70	3.03	3.15	3.27	3.82	4.63
Aire acondicionado	8.67	10.05	10.37	10.71	12.26	15.33
Otros	3.84	2.69	2.74	2.86	3.35	4.08
Total	44.45	47.45	49.53	50.91	57.96	72.86

4.1.2 Sectores agropecuario, comercial, público y consumo propio

La Tabla 4.3 presenta las emisiones de CO_2 por combustible para el escenario base para estos sectores. En todos los casos se considera que las intensidades energéticas permanecen constantes a su valor de 2008. El incremento en el PIB guía los cambios, Con excepción del sector público. De acuerdo con el BNE, el consumo de energía para el sector público se refiere a la electricidad utilizada para bombeo de agua e iluminación pública, por lo que el cambio se asocia al crecimiento poblacional. La demanda de energía eléctrica para los diferentes sectores se presenta en la Tabla 4.4

Tabla 4.3 Emisiones de GEI sectores comercial, agropecuario y consumo propio del sector energético.
Resultados del MEEM-línea base
(MtCO2e)

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Comercial						
GLP	3.98	3.97	3.97	4.36	6.30	10.00
Diesel	0.28	0.32	0.32	0.36	0.51	0.82
GN	0.46	0.50	0.50	0.55	0.79	1.26
Agropecuario						
GLP	0.36	0.35	0.36	0.38	0.44	0.55
Diesel	6.87	8.20	8.53	8.90	10.54	13.02
Consumo propio						
Coque carbón	0.10	0.11	0.11	0.11	0.13	0.17
GLP	0.45	0.48	0.48	0.50	0.60	0.77
Gasolinas	0.88	1.62	1.60	1.66	2.03	2.60
Diesel	2.18	2.81	2.78	2.88	3.52	4.51
Combustóleo	6.35	6.91	6.82	7.08	8.63	11.06
Gas natural	21.66	24.43	24.13	25.04	30.53	39.11

Tabla 4.4 Demanda de energía eléctrica sectores comercial, agropecuario y consumo propio
Resultados del MEEM-Línea base
TWh

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Comercial	13.23	13.64	12.99	14.96	21.65	34.35
Agropecuario	7.96	8.11	8.60	8.80	10.42	12.87
Consumo propio	10.26	11.02	10.88	11.29	13.77	17.64
Público	6.58	7.06	7.71	7.28	7.66	8.00

4.1.3 Sector industrial

Las Tablas 4.5 y 4.6 se muestran las emisiones para el escenario base del sector industrial por rama y por combustibles. Por su parte la Tabla 4.7 presenta el consumo de electricidad. Para la petroquímica, la industria de los fertilizantes y la del tabaco, las emisiones en 2030 son menores que en 2008 debido a la caída del PIB en estas ramas, que viene dándose como tendencia desde 1993.

Tabla 4.5 Emisiones de GEI sector industrial por rama
Resultados del MEEM-Línea base
GtCO2e

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Siderurgia	15.74	17.48	15.78	18.18	24.93	37.00
Química	5.22	5.58	5.52	5.66	6.39	7.42
Azúcar	1.10	0.60	0.60	0.60	0.66	0.73
Petroquímica	1.47	1.57	1.55	1.53	1.27	1.00
Cemento	12.59	12.22	11.70	12.41	14.06	16.43
Minería	3.22	3.67	3.68	3.71	4.12	4.68
Celulosa y papel	2.47	2.61	2.60	2.69	3.44	4.68
Vidrio	2.87	2.93	2.80	2.99	3.53	4.34
Cerveza y malta	1.01	1.08	1.08	1.13	1.65	2.66
Fertilizantes	0.18	0.20	0.20	0.19	0.13	0.08
Tabaco	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Construcción	0.68	0.78	0.75	0.80	1.01	1.35
Aguas envasadas	0.62	0.67	0.67	0.69	0.93	1.33
Automotriz	0.17	0.20	0.17	0.21	0.32	0.54
Hule	0.39	0.41	0.39	0.41	0.47	0.56
Aluminio	0.07	0.07	0.06	0.07	0.09	0.12
Otras	13.42	11.50	10.91	11.74	13.93	17.23
Total	61.24	61.55	58.46	63.05	76.93	100.17

Tabla 4.6 Emisiones de GEI sector industrial por combustible
Resultados del MEEM-Línea base
GtCO2e

CO2e	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Carbón	0.65	0.75	0.72	0.76	0.86	1.01
Coque carbón	8.02	8.85	8.06	9.19	12.43	18.18
Coque petróleo	13.86	14.13	13.51	14.39	16.63	20.00
GLP	2.53	2.69	2.58	2.75	3.28	4.10
Gasolina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Querosina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel	3.75	4.32	4.16	4.42	5.31	6.74
Combustóleo	8.33	6.48	6.30	6.63	8.01	10.27
Gas natural	23.98	24.20	23.02	24.78	30.27	39.73
Bagazo	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15
Total	61.24	61.55	58.46	63.05	76.93	100.17

Tabla 4.7 Demanda de electricidad del sector industrial
Resultados del MEEM-Línea base
TWh

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Siderurgia	7.41	8.46	7.63	8.80	12.06	17.90
Química	5.11	5.22	5.16	5.30	5.97	6.94
Azúcar	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
Petroquímica						
Cemento	5.35	4.54	4.34	4.61	5.22	6.10
Minería	5.54	5.81	5.84	5.89	6.53	7.43
Celulosa y papel	2.79	2.75	2.74	2.84	3.63	4.94
Vidrio	1.13	1.18	1.13	1.21	1.43	1.75
Cerveza y malta	0.86	0.90	0.90	0.94	1.38	2.21
Fertilizantes	0.19	0.15	0.15	0.15	0.10	0.06
Tabaco	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
Construcción	0.46	0.47	0.45	0.49	0.61	0.82
Aguas envasadas	0.82	0.85	0.85	0.88	1.17	1.68
Automotriz	1.82	1.96	1.70	2.07	3.18	5.45
Hule	0.45	0.46	0.44	0.46	0.53	0.63
Aluminio	0.85	0.86	0.78	0.89	1.13	1.52
Otras	69.16	72.78	69.07	74.34	88.15	109.07
Total	102.07	106.54	101.34	109.01	131.25	166.66

4.1.4 Electricidad

Para cubrir la demanda de electricidad el escenario base considera que la generación total de electricidad del sector eléctrico (sin autoabastecimiento) alcanzará 369.7 TWh en 2030, 63% más que en 2008. Con base en las características planteadas en el POISE 2011-

2025 para la estructura de generación y sin considerar las tecnologías de mitigación tomadas en cuenta en el PECC, la estructura de generación por tecnología tendrá una evolución al 2030 como se observa en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Generación de electricidad por tecnología
Resultados del MEEM-Escenario base (sin autoabastecimiento)
TWh

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Dual	13.88	6.88	19.67	20.76	19.82	18.47
Carbo-eléctrica	17.93	17.79	17.97	19.43	18.55	17.29
Nucleo-eléctrica	10.87	9.80	10.27	10.84	10.34	9.64
Hidro-eléctrica	30.30	38.89	30.54	32.24	30.77	28.68
Geotermo-eléctrica	6.69	7.06	4.27	3.81	3.48	3.24
Energía eólica	0.04	0.25	0.23	0.24	0.23	0.21
Térmica convencional	52.05	48.07	34.15	33.91	19.63	14.38
Ciclo combinado	81.94	88.68	94.82	103.90	111.31	193.01
Turbogás	2.75	2.91	2.95	2.78	2.49	2.32
Combustión interna	0.73	0.81	1.31	1.80	2.81	2.66
Total	217.18	227.29	229.01	242.43	289.09	369.68

(1) Se considera que la generación de NGL y NTG del POISE es con ciclo combinado

Por su parte, el autoabastecimiento con fuentes fósiles crecerá en 33 TWh. Las emisiones totales por generación eléctrica se pueden observar en la Tabla 4.9. La disminución hacia los años 2020 y 2030 en el carbón se debe al incremento en el ciclo combinado y la menor generación con las plantas duales y carboeléctricas.

Tabla 4.9 Emisiones de GEI, Generación de Electricidad (servicio público y autoabastecimiento)
Resultados del MEEM-Escenario base
$MtCO_2e$

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Carbón	34.91	25.18	41.06	41.53	39.90	37.58
Diesel	1.61	1.55	3.15	11.35	24.68	31.96
Combustóleo	39.79	35.07	29.59	39.60	27.95	23.67
Gas natural	46.19	54.12	57.33	55.99	83.48	115.69
Total	122.51	115.92	131.13	148.47	176.01	208.91

4.2 Diferencias entre los resultados del PECC y del MEEM para el escenario base

En el PECC, la generación de escenarios de México tanto de línea base (en la cual se mantienen las tendencias actuales), como de reducción del 50% de las emisiones al 2050, respecto de las emisiones en 2000, supone, para el periodo comprendido entre 2008 y 2050, un crecimiento promedio anual del PIB de 3.5% y un crecimiento demográfico que se traduce y estabiliza en 122 millones de habitantes, después de 2040.

En el caso del MEEM las consideraciones de la actividad se toman por sector (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3). El PECC propone para el escenario tendencial y de mitigación las emisiones de GEI presentadas en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Emisiones de GEI de acuerdo con el PECC (Mt CO_2e)

	2006	2012		2030	
		Tendencial	Mitigación	Tendencial	Mitigación
Total	709	786	735	969	572
Energía (1)	430	490	460	660	390

(1) Incluye emisiones fugitivas y quema de combustibles. Son estimadas de acuerdo a Figura 2.1 del PECC

De acuerdo con los resultados del MEEM, que considera la información del Balance Nacional de Energía (BNE) de 2008 (SE, 2010), las emisiones de CO_2e alcanzarán en 2012 el valor de 548.3 $MtCO_2e$ (de las cuales 70 $MtCO_2e$ provienen de emisiones fugitivas) y para 2030, 827.7 $MtCO_2e$ (79.0 $MtCO_2e$ de emisiones fugitivas). La Tabla 4.11 muestra las emisiones esperadas para el escenario base por sector.

Tabla 4.11 Emisiones de GEI de acuerdo con el MEEM-Línea base (Mt CO_2e)

	2006	2008	2010	2012	2020	2030
Residencial	21.2	23.0	24.2	25.6	31.91	43.0
Comercial	4.7	4.8	4.8	5.3	7.6	12.1
Industrial	61.2	61.6	58.5	63.1	76.9	100.2
Transporte	141.9	175.1	179.3	189.4	236.4	312.7
Agropecuario	7.2	8.6	8.9	9.3	11.0	13.6
Generación eléctrica	122.5	115.9	131.1	148.5	176.0	208.9
Consumo propio	31.6	36.4	35.9	37.3	45.4	58.2
Emisiones fugitivas	53.9	66.2	68.9	70.0	74.0	79.1
Total	444.2	491.5	511.7	548.3	659.3	827.7

(1) Para 2008 las emisiones se calcularon de acuerdo con resultados del BNE

Estos resultados exponen que para el año 2008, las emisiones de GEI alcanzaron el valor esperado por el PECC para el año 2012 en el escenario base. Esto significa que el escenario base o tendencial del PECC subestima las emisiones de quema de combustibles fósiles y con ello pone en duda también, el valor de las emisiones totales para el escenario de mitigación[3].

La diferencia entre los resultados del MEEM y del PECC no puede explicarse con mayor detenimiento dada la falta de información en la metodología y consideraciones para la línea base del PECC.

---

[3] Comparado los resultados con el estudio MEDEC (Johnson et al, 2009), las emisiones del MEEM resultan incluso bajas. Por ejemplo, para la generación eléctrica, Johnson et al., estiman para el 2030 emisiones de 322 Mt CO_2e y para quema de combustibles del sector transporte 347 Mt CO_2e.

5. Escenario de mitigación

5.1 Escenario de mitigación MEEM

Las tecnologías y medidas de mitigación analizadas en este trabajo a través del MEEM se muestran en la Tabla 5.1. Cada opción representa la implementación de tecnologías de eficiencia energética o fuentes renovables de energía. Solamente algunas de las opciones están incluidas en el PECC. En la segunda columna de dicha Tabla, se especifican las consideraciones hechas para cada implementación al año 2030.

Para el año 2012 solamente se toman en cuenta la incorporación de tecnologías de mitigación que ya están planeadas para ejecutarse (como LCF en el sector residencial). Existen diversas tecnologías cuya implementación estaba programada para antes del 2012 por el PECC, pero su instrumentación se ha diferido. Tal es el caso de plantas hidroeléctricas o eóloeléctricas, cuya operación no estará lista en el año 2012 (de acuerdo con el POISE 2011-2025).

Para cada opción de mitigación se estiman las emisiones del sistema energético nacional. Por ejemplo, la aplicación de medidas de eficiencia en el consumo de electricidad muestra la reducción de emisiones provenientes de la generación eléctrica evitada (respecto al escenario base). Los resultados se presentan en las Tablas 5.2 y 5.3 en la Figura 5.1 en forma acumulativa.

Como puede observarse en la Figura 5.1, si se incorporan todas las tecnologías y medidas de mitigación, para 2030 podría alcanzarse una emisión de GEI asociada a la producción y uso de la energía cercana a las emisión que tuvo México en 2008 (492.5 $MtCO_2eq$ en 2030 vs. 491.5 $MtCO_2eq$. en 2008). La Figura muestra una disminución inicial en 2012, un crecimiento y después una disminución constante a partir del año 2015 pues es entonces que inicia una incorporación más agresiva de las fuentes renovables de energía para la generación eléctrica. Este tiempo es indispensable para planear los proyectos e inversiones que impliquen su operación a partir de ese año.

Una reducción con mayor pendiente requeriría mayores esfuerzos de reducción de emisiones de GEI.

Tabla 5.1 Opciones de mitigación y consideraciones para su aplicación evaluadas con el MEEM

Iluminación residencial	NOM-028-ENER-2010 Eficiencia Energética de Lámparas para Uso General. Para el sector residencial, las lámparas incandescentes de 100 watts y mayores no podrán comercializarse a partir de diciembre de 2011; las de 75 watts a partir de diciembre de 2012 y las de 60 y 40 watts a partir de diciembre de 2013. Se asume que para 2030 el 30% de las lámparas eficientes serán LEDS.
Refrigeración residencial eficiente	Incremento de la eficiencia del 26% para los refrigeradores nuevos al 2030, manteniendo una tasa de reemplazo de 10 años en vez de 15 años.
AC eficiente	Incremento de la eficiencia del 26% para los AC nuevos al 2030. Manteniendo una tasa de reemplazo de 10 años en vez de 15 años.
Iluminación comercial eficiente	Supone que para 2030 el 100% de los focos fluorescentes serán sustituidos en 80% por T8 y en 20% por LEDS.
Iluminación municipal eficiente	Para el 2030 supone que todas las luminarias serán 30% más eficientes que en el escenario base. Para 2012 supone instalación de un millón de equipos eficientes.
Calentador solar residencial y comercial	Supone que para el 2030 todos los calentadores en el sector residencial (33 millones) deberán ser híbridos (solar-gas). Supone también 10 millones de calentadores híbridos instalados en el sector comercial. El calentador híbrido ahorra 70% de GLP (incluye aumento en la eficiencia de calentador de gas).
Cogeneración PEMEX	De acuerdo con el POISE 2011-2025, para 2021, se esperan 1903 MW de cogeneración que incluyen 300 MW de Nuevo PEMEX (2013), 470 MW de Salamanca Fase I (2015) y 1129 MW de Tula (2021)
PV para riego agrícola	Supone para 2012 la instalación de 100 mil arreglos fotovoltaicos, para 2030 la instalación de 4.8 millones de arreglos que representan un ahorro de 50% de la energía eléctrica utilizada en el sector agrícola
Norma vehicular	Para 2030, la media del rendimiento vehicular de los autos nuevos a gasolina, incluyendo camionetas será 50% más eficiente que el de 2010, pasando de 10.1 km/lt a 17 km/lt. En 2012 no hay mejora pues no se ha emitido ninguna norma
Autos híbridos	Para el 2030, el 75% de los autos a gasolina serán híbridos (de 1% en 2012 a 50% en 2030). Cada vehículo consume 60% menos de gasolina que el convencional
BRT	Al 2030 se sustituyen 62,000 autobuses por 20,900 autobuses articulados. Además se incrementan 86,000 autobuses articulados que promoverán que el 50% de los autos disminuya su recorrido en 50%
Ferrocarril	Al 2030 el 50% de la carga se hará por ferrocarril y 50% por autotransporte. En el escenario base la carga por ferrocarril representa 30%
Biocombustibles para transporte	De acuerdo con Islas et al (2007), en un escenario moderado, podría utilizarse 367 PJ de etanol en 2030 y 381 PJ de biodiesel de forma sustentable. Además se considera el uso de aceite vegetal usado para biodiesel (21.1 PJ en 2030)
Renovables en el servicio público de acuerdo con POISE (2011-2025)	Incluye capacidad adicional al 2030 que sustituye termoeléctricas: 3391 MW hidráulicos, 358 MW geotérmicos y 1921 MW eólicos
Renovables autoabastecimiento	Incluye capacidad adicional al 2030 que sustituye termoeléctricas: 110 MW hidráulicos, 3201 MW eólicos, 305.7 biomasa, 900 MW solares, 300 MW mini hidráulica

Adicional renovables CFE	Al 2030, capacidad adicional al escenario del POISE de 40,000 MW eólicos; 2000 MW geotérmicos; 3000 MW biomasa; 3000 MW solares; 3000 MW hidráulicos. Sustentado en potencial.
Inyección de gas amargo en Cantarell	De acuerdo con el PECC reducción de 6.9 MtonCO_2 eq al 2012. Se estima que para 2030 se reducirán las emisiones fugitivas a la mitad.
Motores industriales	Para 2030 se sustituyen medio millón de motores (10 mil en 2012 y se incrementa de forma lineal) con una potencia promedio de 40 HP. El motor nuevo es 30% más eficiente que el convencional
Eficiencia operativa de PEMEX	De acuerdo con el PECC
Cogeneración industrial	3000 MW de cogeneración industrial al 2030. Inicia en 2015 con 300 MW
Reducción de pérdidas por transmisión y distribución	Reducción de las pérdidas por transmisión en 3%

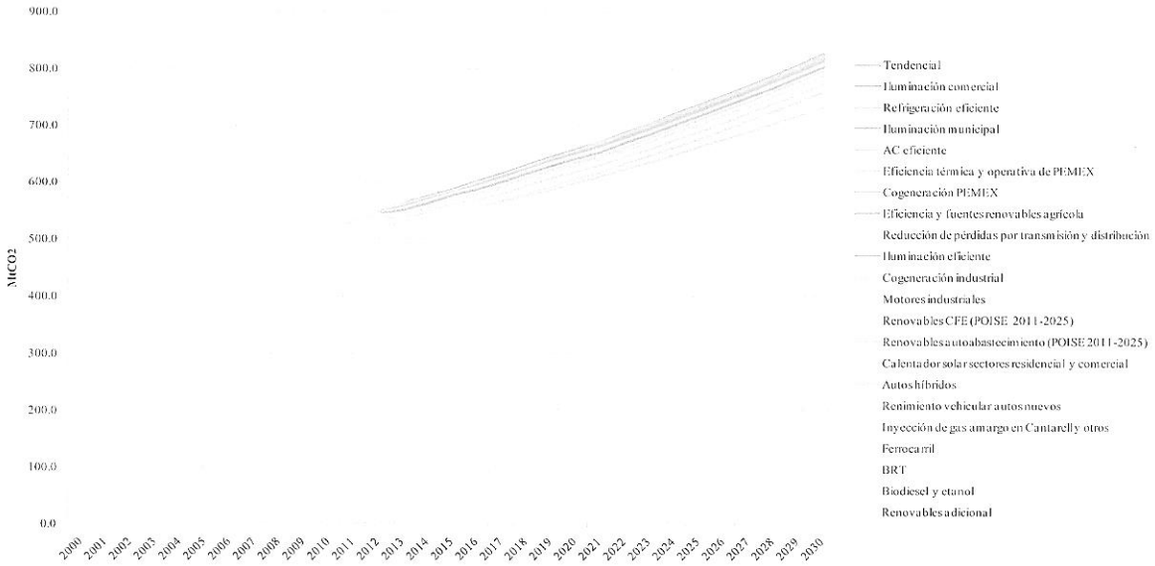
Tabla 5.2 Reducción de emisiones para cada medida y tecnología al año 2030 (respecto al escenario base). MtCO_2eq

	MtCO_2eq
Iluminación comercial	0.30
Refrigeración eficiente	1.23
Iluminación municipal	1.33
AC eficiente	1.48
Eficiencia térmica y operativa de PEMEX	1.60
Cogeneración PEMEX	3.29
Eficiencia y fuentes renovables agrícola	3.32
Reducción de pérdidas por transmisión y distribución	4.00
Iluminación eficiente sector residencial	6.70
Cogeneración industrial	7.30
Motores industriales	9.83
Calentador solar sectores residencial y comercial	11.24
Renovables CFE (POISE 2011-2025)	12.36
Renovables autoabastecimiento (POISE 2011-2025)	13.70
Autos híbridos	16.84
Rendimiento vehicular autos nuevos	24.34
Inyección de gas amargo en Cantarell y otros	24.90
Ferrocarril	29.61
BRT	38.39
Biodiesel y etanol	47.57
Renovables adicional	75.90
Total	335.25

Tabla 5.3 Emisiones de GEI ($MtCO_2eq$) para México con incorporación de medidas y tecnologías de mitigación

	2000	2008	2012	2020	2030
Tendencial	392.0	491.5	548.3	659.3	827.7
Iluminación eficiente	392.0	491.5	546.7	654.0	821.0
Refrigeración eficiente	392.0	491.5	548.1	658.1	826.5
AC eficiente	392.0	491.5	548.2	658.7	826.2
Iluminación comercial	392.0	491.5	547.9	658.9	827.4
Iluminación municipal	392.0	491.5	547.8	658.4	826.4
Cogeneración PEMEX	392.0	491.5	548.3	657.0	824.4
Calentador solar sectores residencial y comercial	392.0	491.5	547.6	655.0	816.5
Eficiencia y fuentes renovables agrícola	392.0	491.5	548.2	658.3	824.4
Rendimiento vehicular autos nuevos	392.0	491.5	548.3	652.8	803.4
Autos híbridos	392.0	491.5	548.3	657.4	810.9
BRT	392.0	491.5	548.3	650.7	789.3
Ferrocarril	392.0	491.5	548.3	647.9	798.1
Biodiesel y etanol	392.0	491.5	548.3	642.0	780.1
Renovables CFE (POISE 2011-2025)	392.0	491.5	545.2	649.2	815.3
Renovables autoabastecimiento	392.0	491.5	540.8	645.6	814.0
Renovables adicional	392.0	491.5	545.2	636.2	751.8
Inyección de gas amargo en Cantarell y otros	392.0	491.5	541.4	644.4	802.8
Motores industriales	392.0	491.5	548.1	654.5	817.9
Eficiencia térmica y operativa de PEMEX	392.0	491.5	547.5	657.7	826.1
Cogeneración industrial	392.0	491.5	548.3	651.2	820.4
Reducción de pérdidas por transmisión y distribución	392.0	491.5	548.3	656.0	823.7

Figura 5.1 Emisiones de GEI para diversas tecnologías de mitigación



El esfuerzo para lograr esta reducción implica cambios importantes respecto a la tendencia actual, sin embargo, la mayoría de los costos de implementación resultan negativos. Es decir, es más oneroso para el país el escenario base, que el escenario de mitigación. Los costos evitados por tonelada de CO_2 para los años 2012 y 2030, se pueden apreciar en la Tabla 5.4.

Para el año 2012, resultan positivos los costos por unidad de tonelada de CO_2eq para refrigeradores eficientes, aires acondicionados eficientes, tecnologías de generación eléctrica con fuentes renovables de energía (de CFE y por autoabastecimiento) y los calentadores solares residenciales y comerciales.

Para el año 2030, son positivos los costos de la incorporación más acelerada de refrigeradores eficientes, la incorporación moderada (POISE 2011-2025) de fuentes renovables para generación eléctrica y la introducción de biocombustibles para transporte.

En el caso de los refrigeradores eficientes, el costo de incrementar el número de refrigeradores eficientes (una tasa menor de reposición) es mayor que la compensación que viene del ahorro de energía eléctrica. Esto es así porque los refrigeradores nuevos, debido a la norma de eficiencia, son ya eficientes (para el 2012 se considera que la diferencia entre

el refrigerador convencional y el eficiente es de tan sólo 20 kWh/año, mientras que para el 2030 será de 76 kWh/año).

En el caso del uso de las fuentes renovables de energía, en el 2012 el costo es positivo pues para ese año no se compensará el aumento en la inversión con los ahorros en el costo de los combustibles. Esto ocurre también para el escenario moderado de fuentes renovables en CFE (POISE 2012-2025) para el año 2030. Sin embargo para el escenario agresivo o adicional de fuentes renovables, así como en el caso del autoabastecimiento, los costos son negativos, pues el ahorro en el combustible en 2030, es mayor que la anualidad en la inversión.

Lo mismo ocurre en el caso de los calentadores solares, respecto al calentador de gas LP. Dado que la diferencia en el costo de inversión es significativa (10 veces), solamente en el año 2030, el ahorro de combustible compensa la diferencia tan grande en la inversión.

Para el año 2030 el costo unitario del uso de biocombustibles para transporte también resulta positivo, por los bajos costos asumidos en el valor de la gasolina y el diesel.

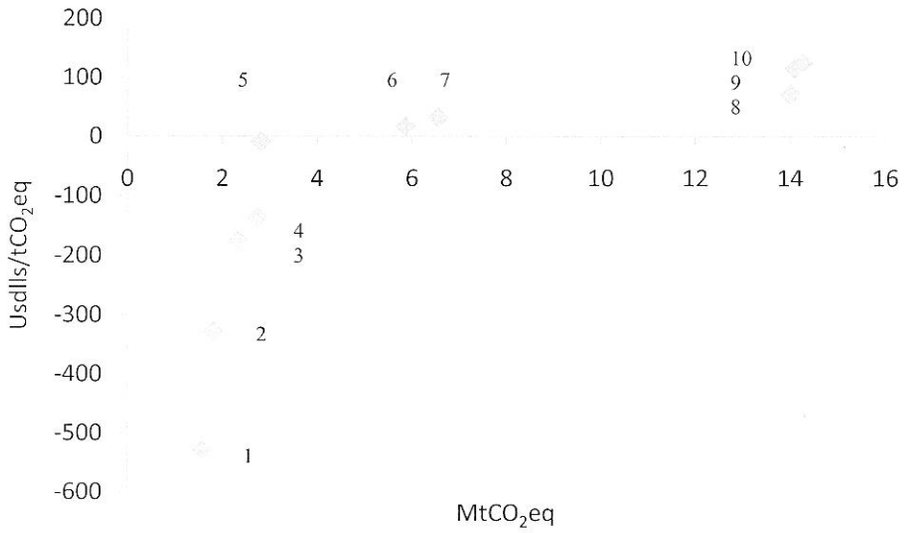
Las Figuras 5.2 y 5.3 presentan la curva de costos incrementales para el año 2012 y 2030 respectivamente.

Tabla 5.4 Diferencia en costos unitarios de inversión y operación para cada escenario respecto al escenario base

	2012 Usdlls/tonCO2eq evitada	2030 Usdlls/tonCO2eq evitada
Iluminación comercial	-136.99	-247.30
Refrigeración eficiente	125.21	242.77
Iluminación municipal	-175.74	-403.70
AC eficiente	115.22	-286.08
Eficiencia térmica y operativa de PEMEX		
Cogeneración PEMEX		-275.95
Eficiencia y fuentes renovables agrícola	-9.15	-31.30
Reducción de pérdidas por transmisión y distribución		
Iluminación eficiente	-530.52	-530.36
Cogeneración industrial		-476.41
Motores industriales	-328.23	-369.08
Renovables CFE (POISE 2011-2025)	17.39	21.48
Renovables autoabastecimiento (POISE 2011-2025)	71.56	-20.53
Calentador solar sectores residencial y comercial	32.38	-1.13
Autos híbridos		-341.84
Renimiento vehicular autos nuevos		-344.15
Inyección de gas amargo en Cantarell y otros		
Ferrocarril		
BRT		-123.67
Biodiesel y etanol		98.51
Renovables adicional		-5.09

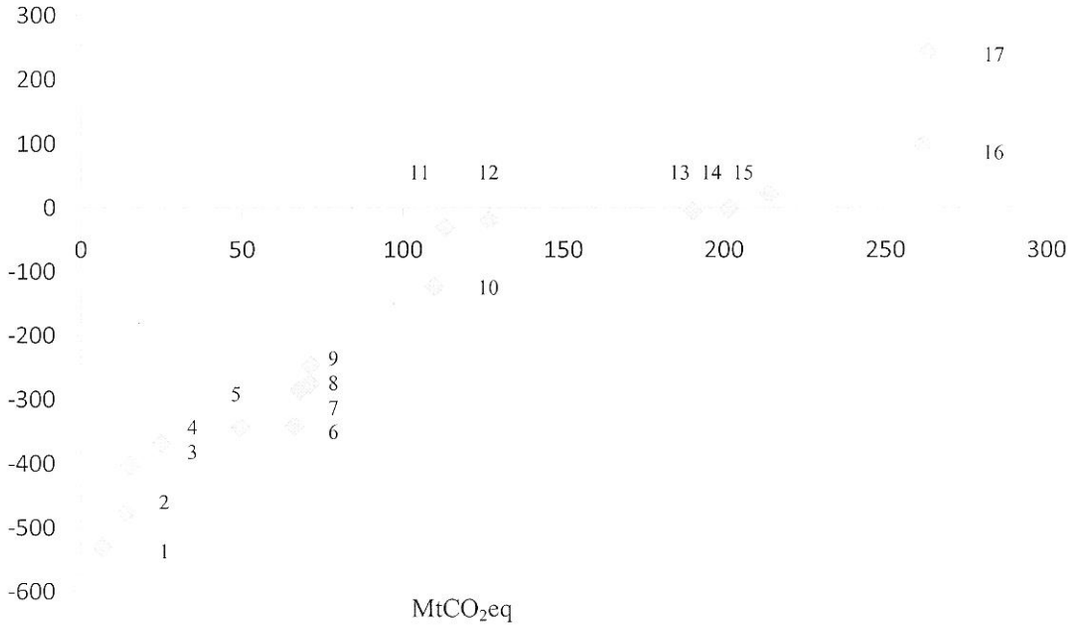
Diversas tecnologías no se incorporan hasta 2012, por eso n.a. (no aplica).
Para diversas tecnologías no se cuenta con la información de costos sólo de mitigación, por eso n.d. (no disponible)
Tasa de descuento 12%. Costo de combustibles constante a su valor de 2010.
Costos de tecnologías para generación eléctrica Johnson et al., 2009; IEA, 2010; Sheinbaum et al., 2011.

Figura 5.3 Curva incremental de costos 2012



1. Iluminación eficiente
2. Motores industriales
3. Iluminación municipal
4. Iluminación comercial
5. Eficiencia y fuentes renovables agrícola
6. Renovables CFE (POISE 2011-2025)
7. Calentador solar sectores residencial y comercial
8. Renovables autoabastecimiento (POISE 2011-2025)
9. AC eficiente
10. Refrigeración eficiente

Figura. 5.4 Curva incremental de costos 2030



1. Iluminación eficiente
2. Cogeneración industrial
3. Iluminación municipal
4. Motores industriales
5. Rendimiento vehicular autos nuevos
6. Autos híbridos
7. AC eficiente
8. Cogeneración PEMEX
9. Iluminación comercial
10. BRT
11 Eficiencia y fuentes renovables agrícola
12. Renovables autoabastecimiento (POISE 2011-2025)
13. Renovables adicional
14. Calentador solar sectores residencial y comercial
15, Renovables CFE (POISE 2011-2025)
16. Biodiesel y etanol
17. Refrigeración eficiente

5.2 Diferencias entre los resultados del PECC y del MEEM para el escenario de mitigación

El PECC no establece claramente la metodología a través de la cual se estiman los escenarios de reducción de emisiones de GEI de corto, mediano (2030) y largo plazo (2050). En su página 15, aclara que: a) para el año 2012 se contabilizan acciones que reducirían las emisiones a niveles equivalentes a los de 2008 (para energía se encuentran descritas en la Tabla 2.1 de este documento) y b) de 2012 a 2030 y a 2050 se asume que las emisiones de GEI en México se reducirán de acuerdo con los escenarios de la OCDE para que a nivel global se alcance la estabilización de emisiones.

De acuerdo con el PECC, entre el año 2008 y el año 2012, se esperaría que la incorporación de tecnologías y medidas de mitigación de GEI en la categoría de energía, lograrían una disminución de 29.88 $MtCO_2eq$ que, además de los 15.29 $MtCO_2eq$ de la categoría de agricultura, bosques y uso de suelo y 5.46 $MtCO_2eq$ de la categoría de residuos, serían suficientes para que las emisiones de México en el 2012 regresaran a su nivel de 2008.

Como se explica en la sección 4.2, los objetivos del PECC al 2012 no serán cumplidos pues las tendencias en el consumo de energía no se han reducido y las emisiones de GEI en el 2008, habrían sobrepasado el valor propuesto para el escenario base en 2012. Esto implica que la curva de reducción de emisiones deberá programarse para años posteriores.

En sus páginas 18 y 19, el PECC apunta metas específicas de reducción de emisiones al año 2030 (400 MtCO2e) y 2050 (750 MtCO2e) y señala que este nivel de esfuerzo es comparable al documentado en otros estudios de mitigación realizados para México (MEDEC; McKinsey; y UNAM)[4].

Según el PECC, los mayores potenciales de reducción durante el periodo 2020-2030 corresponden a las siguientes categorías emisoras: energía (146 MtCO2e, incluye generación y consumo de electricidad; así como petróleo y gas), industria (77 MtCO2e,

[4] Algunas de las referencias citadas en el PECC no son completas. Pore ejemplo en el caso McKinsey solamente se menciona: McKinsey, 2008, Global GHG Abatement Cost Curve v.2.0.

incluyen el consumo de combustibles fósiles y los procesos industriales emisores) y transporte (51 MtCO2e).

Para el periodo 2008-2030, las reducciones presentadas por el PECC se presentan en la Tabla 5.5 (no se especifican reducciones por tecnología).

Tabla 5.5 Reducción de emisiones y costos al 2030 de acuerdo con el PECC

	Grupo de medidas de reducción de emisiones	USdlls/tCO_2e	Reducción MtCO_2 eq
Medidas que aportan reducciones mayores a 3 MtCO_2eq/año tienen costos negativos	Eficiencia energética en los sectores residencial y comercial	-38 a -148	
	Cogeneración industrial, petróleo y gas	-1 a -43	177 a 202
	Optimización del transporte público, normas de rendimiento de vehículos ligeros, BRT	-20 a -141	
Medidas que aportan reducciones menores a 3 MtCO_2eq/año y tienen costos negativos	Eficiencia energética en servicios municipales, en el sector industrial; en transmisión y distribución de electricidad; en el transporte automotor ligero a diesel	-25	
			10 a 46
	Prácticas de labranza en el sector agrícola	-16 a -72	
Medidas que aportan reducciones mayores a 3 MtCO_2eq/año y tienen costos entre -12 y positivos	Deforestación reducida	3 y 5	
	Prácticas de forestación	8	
	Generación de electricidad con energía nuclear	26	167 y 187
	biodiesel de segunda generación	4	
	Generación eólica	6 a 31	
	Mini- hidráulica	-5 a 8	
	Geotérmica	-12 a 1	

La Tabla 5.6. muestra los resultados del MEEM en una forma similar a los del PECC. Aun cuando el PECC no presenta acciones específicas en cada caso (por ejemplo menciona eficiencia energética en sector residencial y comercial pero no especifica las tecnologías) en general se observa similitud en el tipo de acciones que se ajustan a las tres categorías. La diferencia más significativa está en que con el MEEM la incorporación de refrigeradores eficientes en el sector residencial tiene costos positivos. La energía nuclear no es opción en el MEEM.

Tabla 5.6 Reducción de emisiones y costos al 2030 de acuerdo con el MEEM

	Grupo de medidas de reducción de emisiones	USdlls/tCO_2e	Reducción $MtCO_2$ eq
Medidas que aportan reducciones mayores a 3 $MtCO_2eq$/año tienen costos negativos	Cogeneración PEMEX	3.29	-275.95
	Eficiencia y fuentes renovables agrícola	3.32	-31.30
	Reducción de pérdidas por transmisión y distribución	4.00	n.d.
	Iluminación eficiente sector residencial	6.70	-530.36
	Cogeneración industrial	7.30	-476.41
	Motores industriales	9.83	-369.08
	Renovables autoabastecimiento (POISE 2011-2025)	13.70	-20.53
	Autos híbridos	16.84	-341.84
	Rendimiento vehicular autos nuevos	24.34	-344.15
	Inyección de gas amargo en Cantarell y otros	24.90	n.d.
	Ferrocarril	29.61	n.d.
	BRT	38.39	-123.67
Medidas que aportan reducciones menores a 3 $MtCO_2eq$/año y tienen costos negativos	Iluminación comercial	0.30	-247.30
	Iluminación municipal	1.33	-403.70
	AC eficiente	1.48	-286.08
	Eficiencia térmica y operativa de PEMEX	1.60	n.d.
Medidas que aportan reducciones mayores a 3 $MtCO_2eq$/año y tienen costos entre -12 y positivos	Renovables adicional	75.90	-5.09
	Calentador solar sectores residencial y comercial	11.24	-1.13
	Renovables CFE (POISE 2011-2025)	12.36	21.48
	Biodiesel y etanol	47.57	98.51
	Refrigeración eficiente	1.23	242.77

6. Conclusiones

EL Programa Especial de Cambio Climático (PECC) elaborado y publicado por el gobierno federal en el año 2009 fue revisado y evaluado en el área de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la categoría de energía utilizando el Modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM). Los resultados más importantes de dicha evaluación se presentan a continuación.

1. El PECC no presenta la metodología utilizada para estimar ni el escenario base, ni el escenario propuesto de reducción de emisiones de GEI.
2. Para el caso del escenario de mitigación de corto plazo (2012) se especifican las tecnologías y medidas de mitigación con metas claras de reducción, sin embargo para los escenarios de mitigación de mediano y largo plazo sólo se menciona de manera agregada algunas tecnologías o intervenciones.
3. El PECC estima que para el escenario base, en el año 2012, las emisiones de México en la categoría de energía serán de 490 $MtCO_2eq$. De acuerdo con el Balance Nacional de Energía y aplicando la metodología del IPCC utilizada por el inventario nacional de emisiones de GEI, en el año 2008 las emisiones de México alcanzaron 491.5 $MtCO_2eq$. Es decir en 2008 se emitieron los GEI esperados para el 2012. Esto implica que la planeación del PECC subestimó el crecimiento de las emisiones para el escenario base al 2012. Aun cuando en 2009 el consumo de energía registró un descenso producto de la recesión económica, los datos de las ventas de hidrocarburos de Pemex para 2010 (todavía no se publica el BNE para 2010) registran un incremento respecto al año 2008.
4. Este resultado del incremento en el consumo de energía de origen fósil y por tanto de emisiones de GEI, es aun más grave que la subestimación del PECC, pues implica que las medidas que fueron planeadas para que las emisiones de GEI se redujeran (que es el propósito esencial del PECC), no fueron cumplidas. Como lo muestra la Fig. 2.1 (5.1 del PECC) a partir del año 2007 las emisiones de GEI deberían haberse mantenido constantes hasta el 2012 y a partir de ese año comenzar a disminuir. El PECC fue publicado en 2009, año para el cual ya se conocía el

resultado del consumo de hidrocarburos de los años anteriores. Es decir se publica un programa que ya de inicio se sabe que está fuera de la realidad para el año de publicación.

5. Existe una contradicción metodológica en la elaboración de la línea base y el escenario de mitigación. Por un lado se describe que la línea base incluye los proyectos de las prospectivas del sector energía y por otro lado, se incluyen en las medidas de mitigación, acciones contempladas en la prospectiva (por ejemplo fuentes renovables por autoabastecimiento de energía, el incremento de producción geotérmica, o la central hidroeléctrica La Yesca). Esto implica, de acuerdo con lo escrito en el PECC, que diferentes medidas que ya se incluyeron en el escenario base vuelven a contabilizarse en el escenario de mitigación.
6. Los resultados de reducción de emisiones al 2012 cargan con el problema de la sub-evaluación de las emisiones en el escenario base. Es decir para provocar una reducción como la esperada por el PECC a partir de 2012, la reducción de emisiones debe ser mayor que los 29.8 $MtCO_2eq$ programadas para el sector energía.
7. Diversos proyectos programados por el PECC para el año 2012 en el escenario de mitigación fueron diferidos. Tal es el caso por ejemplo de proyectos eólcos, de la norma de rendimiento de gasolina para vehículos ligeros.
8. La subestimación de las emisiones en el escenario base del PECC para 2012, también ocurren en los escenarios de mitigación de mediano y largo plazo. De acuerdo con el MEEM las emisiones de GEI de la categoría de energía para el escenario base en el año 2030 serán de 827.7 $MtCO_{2eq}$, 20% más que lo programado por el PECC (660 $MtCO_{2eq}$). El resultado del MEEM es inclusive menor al de otros estudios. Por ejemplo el estudio MEDEC de Banco Mundial (Johnson et al., 2009) estima que para el 2030, las emisiones asociadas a la generación eléctrica serán de 322 MtCO2e y para quema de combustibles del sector transporte 347Mt CO2e[5].
9. El PECC solo presenta de forma agregada las medidas, tecnologías o intervenciones para el año 2030. De acuerdo con la p. 19 del PECC, las intervenciones (incluyendo

[5] El MEDEC no presenta las emisiones agregadas para la categoría de energía.

todas las categorías) podrían alcanzar una reducción de entre 354 y 435MtCO_2eq al 2030.

10. A través del MEEM se evalúan 20 intervenciones para el sector energía (agregando en una sola a todas las energías renovables para generación eléctrica). De acuerdo con esta evaluación, se alcanzaría una reducción de emisiones de 335.3 MtCO_{2eq} (Tabla 5.2), similar a la cota menor propuesta por el PECC. Sin embargo, al ser más altas las emisiones del escenario base en el MEEM, la reducción implicaría que México tuviese emisiones similares a las de 2008 y no del 2000.
11. Los costos de mitigación obtenidos a través del MEEM tienen similitud a los señalados por el PECC para el año 2030, aun cuando en el caso del PECC, no se especifica el costo de cada tecnología o intervención. La mayor diferencia está en la implementación de refrigeración eficiente en el sector residencial, donde el MEEM aporta costos positivos debido a que el ahorro obtenido no es tan significativo porque ya existe una norma que limita el consumo de energía de estos equipos.
12. Existen otros errores menores en el PECC como el incluir la implementación de estufas eficientes de leña en el capítulo de usos de la energía. De acuerdo con la metodología del IPCC, esta debe ser incluida en la categoría de captura y emisiones de CO_2 forestales.
13. El PECC es un esfuerzo importante, sin embargo la subestimación del escenario base, la falta de claridad en la metodología e intervenciones para la reducción de emisiones de mediano y largo plazo y el hecho de que diversas medidas de corto plazo para la reducción de emisiones aun no han sido implementadas, hacen que este documento se convierta solamente en una orientación y no un verdadero programa de cambio climático.

Referencias

Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2011. Programa de Obras del Sector Eléctrico 2011-2025. México DF.

Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2011. Normas de Eficiencia Energética. Disponible en: http:// www.conae.gob.mx

Comisión Nacional de Población. 2011. Datos de población. Disponible en www.conapo.gov.mx

Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 20011. Clean Development Mechanism. http://cdm.unfccc.int/

Diario Oficial de la Federación. 2009. Programa Especial de Cambio Climátco 2009-2012 – DOF 28/08/2009

Diario Oficial de la Federación. 2005. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático DOF 25/04/2005.

Fideicomiso de Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). 2011. Sello Fide. Disponible en: http://www.fide.org.mx

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2011. Sistema de Información Económica. Disponible en www.inegi.org.mx

International Energy Agency. 2010. Energy Technology Perspectives 2010, OECD/IEA, Paris

IEA, 2011. CO_2 emissions from Fuel Combustion 2011 – Highlights. OECD/IEA, Paris.

IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2. Energía

Johnson, T.M., Alatorre C., Romo Z., Liu F. 2009. Mexico: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC). Banco Mundial- Mayol ediciones. Washington DC.

Ketoff, A., and Sathaye, J., "CO_2 Emissions from Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term. Volume 1 Summary", Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-29507, Berkeley CA., 1991.

McKinsey, y CMM (Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C.). 2009. *Low-Carbon Growth. A Potential Path for Mexico.*

Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). 2007. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104

Reddy A. 1995. The DEFENDUS approach to integrated energy planning. *Energy for Sustainable Development* **II.** 3

Rosas J., Sheinbaum C., Morillón, D. 2010. The structure of household energy consumption and related CO_2 emissions by income group in Mexico. Energy for Sustainable Development. Energy for Sustainable Development 14 (2): 127-133

Sheinbaum C., Masera O., 2000. Mitigating Carbon Emissions while Advancing National Development Priorities: The Case of Mexico. *Journal of Climatic Change* 47(3): 259-282

Sheinbaum C., Chávez C. 2011. Fuel economy of new passenger cars in Mexico: Trends from 1988 to 2008 and prospects. Energy Policy 39 (12): 8153-8162.

Shinbaum C. Briceño S., Ordoñez B., Robles G., Peña E. 2011. Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática. Informe del Instituto de Ingeniería al Instituto Nacional de Ecología.

Stockholm Environemnatl Institutute (SEI). 2011. Long range Energy Alternatives Planning System. Available at http://www.sei-us.org/

United Nations Convention of Climate Change. 2011. Acuerdos de Bali; Acuerdos de Cancún. Disponible en www.unfccc.int