



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
(SISTEMAS) – (PLANEACIÓN)

GUÍA DE METODOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE  
EFECTO INVERNADERO (CONSUMO DE ENERGÍA) PARA LOS ESTADOS DE LA  
REPÚBLICA MEXICANA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ECON. SONIA ROSA BRICEÑO VILORIA

TUTORA:  
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO. INSTITUTO DE INGENIERÍA. UNAM

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Sánchez Guerrero Gabriel de las Nieves

Secretario: Dr Suárez Rocha Javier

Vocal: Dra Sheinbaum Pardo Claudia

1er suplente: Dra Lozano Cuevas Angélica del Rocío

2do suplente: M.I. Fuentes Zenón Arturo

México DF.

TUTORA DE TESIS:

---

DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO

## **Resumen**

El contexto normativo del presente trabajo está representado principalmente por la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que define entre los principios de la Política Nacional de Cambio Climático, *el tránsito hacia una economía de bajas emisiones* y como objetivo de mitigación, *la reducción de emisiones provocadas por la generación y uso de la energía*. El instrumento de planificación estatal, ratificado en la LGCC es el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) enfocado a la medición de emisiones, el análisis de la vulnerabilidad, la definición de acciones para la mitigación y para la adaptación.

La LGCC exige a las entidades federativas calcular emisiones y elaborar escenarios de mitigación y adaptación. Las metodologías empleadas para ello a nivel nacional, son aplicables a nivel estatal, pero la falta o inadecuada información estatal dificulta su uso. De esta forma, los inventarios y los PEACC existentes reflejan el uso de diferentes criterios y supuestos para un mismo sector o variable, lo que conduce a otro problema, la falta de uniformidad, que impide la integralidad de los datos para construir esos instrumentos a escala nacional a partir de la suma de los elaborados a nivel estatal.

Se combinó el Enfoque de Sistemas y la Metodología de los Sistemas Suaves para proponer una estrategia para la estimación de los consumos de energía de cada estado, empleando los parámetros nacionales.

La presente estrategia facilita el cálculo del consumo de energía y de las emisiones de GEI que este consumo genera a nivel estatal, permite reconocer las particularidades de cada estado, respecto a su estructura económica y de población, tipo de industria y demás variables empleadas en la construcción de la línea base y de los escenarios. La presente estrategia puede ser usada con datos sectoriales agregados o desagregados y es de fácil instrumentación en hojas de cálculo, lo que le imprime flexibilidad de uso y bajo costo. Lo cual facilita la uniformidad de los inventarios y por lo tanto la integración del programa nacional a partir de los programas estatales.

## **Abstract**

The legal context of this work is the Climate Change Act (LGCC by its spanish acronym). This

Law defines *the transition to a low carbon emissions economy* as one of the most important principles of the National Policy on Climate Change, and *the emissions reduction from energy generation and use*, as one of the main mitigation objectives. The state planning instrument ratified in LGCC that focuses on emissions measurement, vulnerability analysis and definition of mitigation and adaptation actions is the Climate Change State Program (PEACC by its spanish acronym).

The Mexican states are required by the LGCC to calculate GHG emissions and to define mitigation and adaptation scenarios. The methodologies used for this nationwide calculation are also statewide used, but the lack or inadequate state information makes them difficult to apply at state level. Thus, the existing inventories and PEACCs reflect the use of different criteria and assumptions for the same sector or variable, which leads to another problem: lack of uniformity, which prevents pooling of data to build these Programs at a national level summing up the statewide Programs.

In this study was combined the Systems Approach and Soft Systems Methodology to propose a solution in the form of a strategy for estimating the energy consumption of each state, using the national parameters.

This strategy facilitates the calculation of energy consumption and GHG emissions that this consumption generates statewide; also allows to recognize the particularities of each state with respect to its economic structure and population, industry type and other variables used in the construction of the baseline and scenarios. The elaborated strategy can be used with sector data, aggregated or disaggregated, and can be easy implemented in spreadsheets, which gives it flexibility of use and low cost. This facilitates the uniformity of state inventories and therefore the integration of the national program from state programs.

---

|   |     |
|---|-----|
| CONTENIDO   |     |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1   |
| I. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....  | 6   |
| II. EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL .....  | 11  |
| III. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA.....   | 29  |
| IV. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PLANIFICACIÓN EN MÉXICO .....                                    | 35  |
| V. LOS INVENTARIOS DE GEI PARA LOS ESCENARIOS DE MITIGACIÓN DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS..... | 61  |
| VI. METODOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DE MITIGACIÓN. ....                       | 70  |
| VII. ESTRATEGIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS ESTATALES EN LA CATEGORÍA DE ENERGÍA.....  | 84  |
| VIII. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PARA LA MITIGACIÓN DE GEI .....                                | 118 |
| IX. TECNOLOGÍAS Y MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....              | 132 |
| CONCLUSIONES .....  | 165 |
| REFERENCIAS.....  | 167 |
| ANEXOS.....   | 178 |
| ANEXO 1. ACTIVIDADES CONSIDERADAS EN LOS INVENTARIOS DE EMISIONES ESTATALES .....             | 178 |
| ANEXO 2. ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN ELÉCTRICO 2009 AL 2024 .....                        | 180 |
| ANEXO 3. INDICADORES NACIONALES .....   | 182 |
| ANEXO 4. PROGRAMAS ORIENTADOS A LA MITIGACIÓN DE GEI .....                                    | 186 |

## INTRODUCCIÓN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI; GHG por sus siglas en inglés) provocadas por la actividad humana están generando una elevación en la temperatura del planeta y con ello, alteraciones que pueden afectar de manera peligrosa el sistema climático, estimulando cambios en la precipitación, elevación del nivel del mar y 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 sobre el Cambio Climático (PICC; IPCC por sus siglas en inglés) una organización de científicos de todo el mundo 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 PICC publicó su cuarto reporte y por su contribución a este tema, obtuvo el premio Nobel de la Paz. En la actualidad el PICC prepara el Quinto Reporte de Evaluación sobre cambio climático a ser publicado en 2014.

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<sup>1</sup>. 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 la CMNUCC el Protocolo de Kioto, el cual entró en vigor en 2005. El 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

---

<sup>1</sup> La CMNUCC tiene una reunión anual en la llamada Conferencia de las Partes (COP).

industrializados (países listados dentro del Anexo I del protocolo de Kioto). Con la finalidad de lograr esa meta de reducción, puso en marcha diversos mecanismos de mercado tendientes a apoyar la disminución de emisiones de carbono; como la implementación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL y CDM por sus siglas en inglés).

En particular, el MDL permite a los países del Anexo I del protocolo de Kioto, la reducción de emisiones a través de proyectos de mitigación de GEI realizados en países en desarrollo (que por no ser industrializados forman parte del denominado No Anexo I del citado protocolo). Para ello, debe pagar la reducción certificada de toneladas de carbono al propietario del proyecto, previa aprobación de una institución oficial del país en el que éste se lleva a cabo. Para que un proyecto sea considerado en el MDL debe desarrollarse una metodología clara de contabilización y verificación de reducción de emisiones que debe ser aprobada por un comité de la CMNUCC. Formalmente, el MDL permite la transferencia de recursos y tecnología de los países desarrollados a los países en vías de desarrollo. Existen diversos análisis de las implicaciones de este mecanismo. Lo cierto es que a fines de 2012 se habían registrado 4,601 proyectos de 78 países al MDL, que en total representan cerca de 500 millones de certificados de reducción de emisiones, (UNFCCC, 2012).

Los países que más compromiso han adquirido con la CMNUCC son Japón y los países de la Unión Europea; sin embargo, Estados Unidos de América, el país que representa cerca de una cuarta parte de las emisiones de GEI de todo el planeta, nunca firmó el protocolo de Kioto.

La CMNUCC continúa buscando un nuevo acuerdo internacional post-Kioto ya que su vigencia venció el año pasado. Uno de los elementos centrales de la discusión internacional es la emergencia económica de China e India, 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 ha convertido en el país con mayores emisiones de GEI, superando a Estados Unidos. Sin embargo, las emisiones per cápita seguirán siendo mucho más elevadas en los países de la OCDE. Esta situación mantiene el debate de 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 UNFCCC (<http://unfccc.int>).

Desde la década de los años 90 México estableció sin estar obligado, su compromiso de acatar los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. El tema de cambio climático fue incluido por primera vez en el Plan Nacional de Desarrollo del período 2007 – 2012, en su eje rector 4 dedicado a la Sustentabilidad Ambiental. Con este contexto normativo, en 2007, la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático presentó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) como base para elaborar un Programa Especial de Cambio Climático 2008 – 2012 (PECC), e integrarlos como parte de su plan de desarrollo. En estos se establecen escenarios de reducción de emisiones de GEI.

Recientemente, el país publicó la Ley General de Cambio Climático que entró en vigencia en octubre pasado, en la que establece entre otras estrategias, la concurrencia de acciones y la responsabilidad compartida de los tres niveles de gobierno para la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. La citada LGCC define en su capítulo cuarto los principios y objetivos de la Política Nacional de Cambio Climático, entre ellos destaca: el tránsito hacia una economía de bajas emisiones y señala como uno de los objetivos de mitigación, la reducción de emisiones provocadas por la generación y uso de la energía.

En este marco de acciones de política pública, los estados y el Distrito Federal, han buscado ampliar sus capacidades locales para elaborar inventarios de emisión de GEI así como escenarios de emisión y de mitigación; y en el marco de su competencia, desarrollar medidas de reducción de emisiones que les permita contribuir al esfuerzo internacional, pero también, ingresar en los actuales y futuros mecanismos de venta de reducción de emisiones.

Uno de los instrumentos de planificación en el nivel estatal lo constituye el Programa Estatal de

Acción ante el Cambio Climático (PEACC) enfocado no sólo a la medición de emisiones sino a la definición de acciones para la mitigación y de manera muy importante, para la adaptación. La elaboración de inventarios de emisión por entidad federativa y de proyección o escenarios de emisión permitirá un mejor conocimiento en el país de la contribución de México a las emisiones totales.

Este mejor conocimiento a nivel estatal, sería muy sencillo y más completo si cada entidad contara con sus respectivos balances energéticos, instrumento que contabiliza la producción, transformación y consumo de los recursos energéticos. Sólo los estados de Hidalgo y Guanajuato formaron sus respectivas Comisiones de energía con la finalidad de realizar Balances anuales de energía. Adicionalmente, la información disponible del sector energético varía según la fuente y en algunos casos, según la entidad federativa. Por tanto, el tránsito hacia ese mejor conocimiento, debe iniciar por la unificación de los criterios y supuestos que emplearán las entidades federativas para estimar la información que se requiere para calcular las emisiones de GEI.

De allí que el objetivo del presente trabajo es proponer una guía orientada a promover la sistematización de la información y el fortalecimiento del conocimiento y de las capacidades locales en torno al tema de las emisiones por consumo de energía. Así, el documento comprende:

- Una base conceptual, presentada en el capítulo II.
- El marco teórico de referencia, constituido principalmente, por la metodología de los sistemas suaves, expuesto en el capítulo III.
- El entorno de la investigación, presentado como la situación del cambio climático y la planificación en México en el capítulo IV.
- Metodologías para la construcción de inventarios y de escenarios para la categoría de energía, presentadas en el capítulo V y VI.
- Estrategia para la identificación de las fuentes de información y la selección de las variables pertinentes para la construcción de escenarios de emisiones y de mitigación, derivada del trabajo de investigación, en el capítulo VII.
- Breve descripción de los instrumentos de política nacional e internacional, aplicables para la

mitigación de GEI, capítulo VIII.

- Información relacionada con las tecnologías asociadas al uso eficiente de la energía y a fuentes renovables de energía aplicables por los diferentes sectores para la mitigación de GEI; en el capítulo IX.

## I. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

A pesar del compromiso demostrado por México desde la década de los años 90 con la firma y ratificación de los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero, la publicación de resultados en las comunicaciones nacionales, etc., no se ha logrado una integralidad y corresponsabilidad vinculante de los tres niveles de gobierno (nacional, estatal y municipal) para el diseño y aplicación de la política pública de cambio climático cohesionada.

Así, la mayor parte de la política pública en materia de cambio climático del país se elabora y ejecuta a nivel federal, aunque hay contadas iniciativas estatales y municipales orientadas principalmente al desarrollo de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) y a los Programas de Acción Climática Municipal (PACMUN), respectivamente. Estos programas se crearon con la intención de incentivar acciones para enfrentar los efectos del cambio climático que tuvieran por su carácter local, mayor oportunidad y efectividad de aplicación.

De otro lado, la mayor parte de los estudios relacionados con la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero o con el diseño de medidas para su mitigación, también son de carácter nacional (por ejemplo, los inventarios nacionales o el reporte México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC) (Johnson et al., 2009) o tratan aspectos muy puntuales (ahorro de energía para diferentes sectores productivos o manejo de bosques para captura de dióxido de carbono, entre otros).

Las necesidades de integralidad y corresponsabilidad señaladas previamente, recibieron el impulso normativo el 6 de junio de 2012, con la publicación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que establece entre otras estrategias, la *conurrencia de acciones* y la *responsabilidad compartida de los diferentes niveles de gobierno* para la *elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la reducción de emisiones de gases efecto invernadero*.

En su capítulo cuarto la LGCC define entre los principios de la Política Nacional de Cambio Climático, *el tránsito hacia una economía de bajas emisiones* y señala como objetivo de mitigación, *la reducción de emisiones provocadas por la generación y uso de la energía*.

Uno de los instrumentos de planificación en el nivel estatal, ratificado en la LGCC es el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) enfocado no sólo a la medición de emisiones y al análisis de la vulnerabilidad, sino a la definición de acciones para la mitigación y de manera muy importante, para la adaptación.

La observancia de la LGCC exige a las entidades federativas calcular emisiones y elaborar escenarios de mitigación y adaptación. Las metodologías empleadas para ello a nivel nacional, son aplicables a nivel estatal, la problemática que se deriva de su aplicación tiene su origen en la falta de información estatal con el grado de detalle requerido por esas metodologías. Esto obliga a realizar estimaciones bajo supuestos de cálculo basados en parámetros nacionales o en variables aproximadas. De forma tal, que los inventarios y los PEACC existentes reflejan el uso de diferentes criterios y supuestos para un mismo sector o variable, lo que a su vez, conlleva a otro problema, la falta de uniformidad, que impide la integralidad de los datos para construir esos instrumentos a escala nacional a partir de la suma de los elaborados a nivel estatal.

En consecuencia, en este documento se propone como solución a esa problemática, un instrumento en la forma de una guía, que a partir de la información disponible a nivel estatal y federal, establece criterios específicos para la adecuada selección de variables y parámetros que se usarán para estimar las emisiones estatales en la categoría de energía.

## **I.1 OBJETIVO**

El trabajo que aquí se presenta busca responder a la problemática relacionada con la ausencia de información detallada del uso de los energéticos a nivel estatal y ofrece para ello, una estrategia para su estimación, así como la metodología de diseño de escenarios de emisión y de mitigación y el panorama de las medidas de mitigación existentes, en la forma de una guía integrada.

Así, el objetivo específico es ofrecer una guía necesaria y adecuada a su entorno y a la disponibilidad de información, para que las entidades y municipios incorporen en sus programas

y planes, el diseño de escenarios de mitigación de GEI por consumo de energía.

## **I.2. ALCANCE**

Esta tesis se enmarca en un proyecto desarrollado por el Instituto de Ingeniería para el Instituto Nacional de Ecología denominado *Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático* (INE, 2012). El alcance de dicho proyecto comprendió las cuatro categorías de actividad emisoras de GEI, establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) de Naciones Unidas:

1. Energía
2. Procesos industriales y uso de productos;
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra o del suelo; y
4. Desechos.

La tesis se circunscribe a las emisiones de GEI por consumo de energía y las medidas de mitigación aplicables al mismo, por parte de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Este alcance obedece a que el 67.3% de las emisiones de GEI proceden de la quema de combustibles fósiles (SEMARNAT-INE, 2012).

La Guía producto de la presente tesis se concibió como un documento de referencia para apoyar a los gobiernos estatales y del Distrito Federal en el diseño de escenarios para la mitigación de Gases de Efecto Invernadero generados por el consumo de energía, como parte de sus Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). En consecuencia, ofrece una revisión conceptual, metodológica e informativa que comprende:

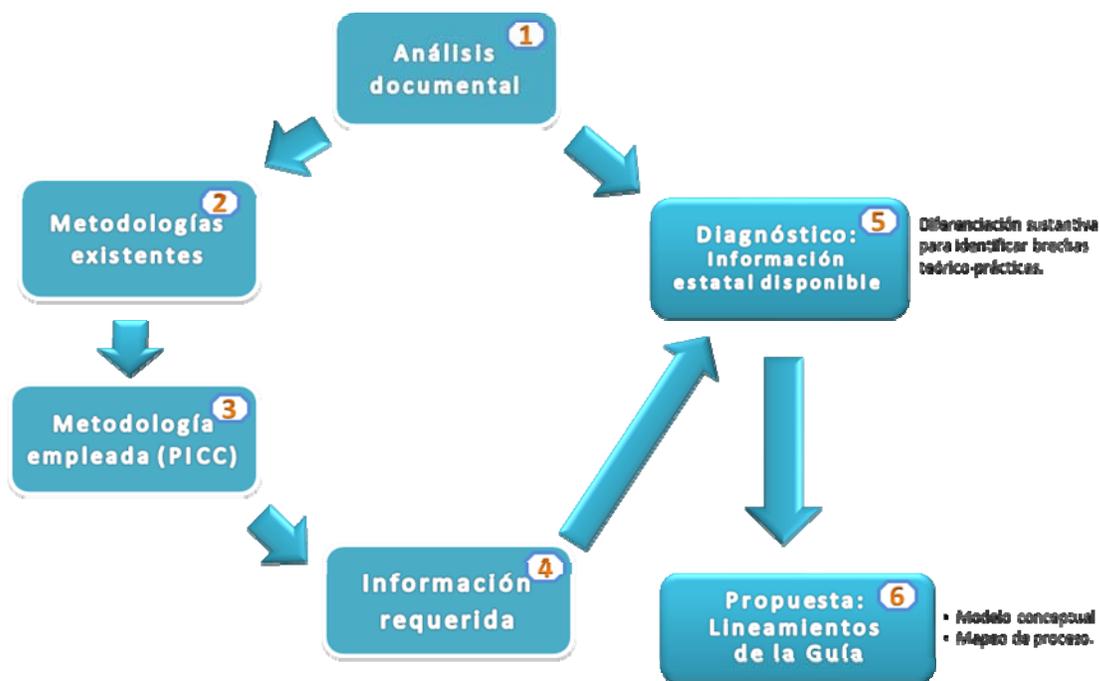
- Estrategia para la estimación de la información necesaria para la elaboración de escenarios de emisiones y de mitigación.
- Metodologías para la elaboración de escenarios de emisiones y de mitigación de GEI;
- Descripción de tecnologías aplicables para reducir las emisiones de GEI;

- Descripción de programas que promueven la adopción de medidas de mitigación.

### I.3 ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

La investigación cuyos resultados se publican a través de este trabajo es de tipo descriptiva y la estrategia emprendida para su desarrollo se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Estrategia de investigación seguida



Fuente: Elaboración propia.

La estrategia de investigación inició con el análisis de documentos oficiales elaborados por las instituciones nacionales e internacionales abocados a entender, medir y diseñar política pública para mitigar los efectos del cambio climático, así como de libros, tesis y artículos relacionados con el tema.

Dicho análisis facilitó el conocimiento de las características y variables involucradas en el fenómeno del cambio climático y la identificación de diferentes metodologías para la elaboración de inventarios y escenarios de mitigación, entre las que se encuentra la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC), que es la empleada por el sector

oficial mexicano y el Modelo de Energía y Emisiones para México (MEEM) diseñado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM). La base metodológica de esta última herramienta se describe a detalle dado que constituye la base de la Guía propuesta.

Otro resultado que deriva del análisis documental se refiere a la diferenciación sustantiva entre la información disponible en el nivel estatal (estadísticas de población, de su consumo de energéticos, así como de los sectores energético y productivo y del transporte) y los requerimientos de información de las metodologías del PICC y del MEEM. Esta diferenciación es fundamental para la propuesta de la guía objeto del presente estudio, ya que se pretende que ésta sea un instrumento flexible, aplicable con el mínimo de información disponible, así como con información más detallada, en el caso que exista. Dicha revisión también permitió identificar las deficiencias de información y proponer mecanismos para recopilarla.

Finalmente, una vez identificada la información estatal disponible se procedió al diseño de la propuesta a partir de la integración de las metodologías de cálculo de emisiones y de mitigación del PICC y del MEEM. Así, se conceptualizó la guía con:

- Las sugerencias para la obtención y adecuado procesamiento de la información disponible para la alimentación del modelo matemático.
- El modelo matemático (MEEM) que permite la construcción de escenarios de emisión y mitigación de GEI para el sector energético.
- El mapeo del proceso para la construcción de escenarios de emisión y mitigación de GEI para el sector energético.

En el campo de la planificación energética, el MEEM se inscribe como un modelo “de abajo hacia arriba”, es decir que inicia el cálculo a partir de los sectores de consumo y en la medida que la información lo permite, de los usos finales de la energía (Goldemberg et al, 1987; Reddy, 1995). Esto ofrece la ventaja de facilitar la medición de los impactos producidos por alguna sustitución tecnológica o por el cambio en el uso de combustibles sobre el consumo de energía y las emisiones de GEI, y por ende, la construcción de escenarios de mitigación.

## II. EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

En los párrafos que siguen se presenta un resumen de la base científica que sustenta la teoría de un cambio en el clima de todo el planeta ocasionado no sólo por procesos naturales, sino sobre todo por las alteraciones que las diferentes actividades humanas generan sobre ese sistema complejo.

Ese resumen pretende exponer de manera clara, el origen del problema y los síntomas que lo hacen evidente.

Seguidamente, se sintetiza el trabajo realizado a nivel internacional y nacional, para entender, mitigar y sobrellevar las consecuencias de dicho problema.

### II.1 RESUMEN DE LA BASE CIENTÍFICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

#### El ciclo del carbono

El Carbón (C) es un elemento químico muy común y parte fundamental de los seres vivos, ya que está presente en las proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos y otras moléculas esenciales para la vida<sup>2</sup>.

El ciclo del carbón es uno de los procesos biogeoquímicos<sup>3</sup> naturales en los cuales se reciclan elementos químicos (en este caso el carbono) desde el ambiente (abiótico) hacia los organismos (biota) y viceversa. Se produce a diferentes escalas de espacio y tiempo entre cuatro reservorios principales que son:

- la atmósfera,
- la biósfera (biota terrestre y marina),
- la hidrosfera (océanos, ríos, lagos), y

---

<sup>2</sup> Proteínas, catalizadores de procesos químicos y también forman parte de algunos tejidos estructurales; ácidos nucleicos (ADN y ARN) que transportan información "vital" para el funcionamiento celular; carbohidratos o hidratos de carbono (glúcidos) que transportan energía y forman parte de algunos tejidos estructurales; lípidos que constituyen el componente esencial de las membranas celulares y almacenan energía.

<sup>3</sup> Movimiento cíclico de los elementos que forman los organismos biológicos y el ambiente geológico donde interviene un cambio químico.

- la litósfera (suelo, rocas, and superficie terrestre).

En la forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es constantemente intercambiado entre estos reservorios. Los mayores intercambios se producen entre la atmósfera y la biota terrestre y entre la atmósfera y la superficie del mar (PICC, 2001), este intercambio es facilitado por los procesos de fotosíntesis, respiración, disolución y precipitación (PICC, 1994; Grace, 2001).

El ciclo biológico es el más rápido, comienza con la difusión a través de la cual las plantas superiores adquieren el  $\text{CO}_2$  presente en la atmósfera o disuelto en el agua, el proceso siguiente es la fotosíntesis que permite transformar ese  $\text{CO}_2$ , usando el carbono para formar los tejidos vegetales en forma de hidratos de carbono, grasas y proteínas y devolver el oxígeno a la atmósfera o al agua (Ordoñez et al, 2008).

Cuando los herbívoros comen de las plantas, asimilan, utilizan, reorganizan y degradan los compuestos de carbono. Gran parte de este carbono es liberado (a la atmósfera) en forma de  $\text{CO}_2$  por la respiración o como producto secundario del metabolismo (agua o suelo) y la otra parte se almacena en los tejidos de los ejemplares que sirven de alimento a los carnívoros. Todos los compuestos del carbono se degradan por descomposición y el carbono que es liberado en forma de  $\text{CO}_2$  es utilizado de nuevo por las plantas.

Otra parte del ciclo, la más larga, se lleva a cabo en los océanos, el dióxido de carbono de la atmósfera se disuelve en contacto con las aguas oceánicas, donde las corrientes submarinas lo transportan después por todo el planeta. El fitoplancton, formado por microorganismos dotados de capacidad de fotosíntesis asimila parte de este carbono. Cuando abunda el plancton, el océano se convierte en un "depósito de carbono", que absorbe el  $\text{CO}_2$  atmosférico y lo convierte en residuos orgánicos que eventualmente quedan retenidos en los sedimentos del fondo marino.

En el muy largo plazo (cientos de millones de años) el  $\text{CO}_2$  atmosférico se disuelve en el agua de lluvia y forma ácido carbónico que reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre. Los ríos acarrear los productos disueltos al océano. En el océano se forma el carbonato de calcio que se deposita en los sedimentos marinos que por el proceso de subducción entran a la corteza baja de la Tierra. En este proceso se reincorporan elementos a los minerales primarios de

las rocas y el carbono regresa a la atmósfera como CO<sub>2</sub> por las emisiones volcánicas e hidrotermales.

En algunos casos el carbono presente en las moléculas biológicas no regresa inmediatamente al ambiente abiótico, es el caso del carbono presente en la madera de los árboles o el que formó parte de los depósitos de hulla (tipo de carbón mineral) a partir de restos de árboles antiguos que quedaron sepultados en condiciones anaerobias antes de descomponerse. La hulla, el petróleo y el gas natural son combustibles fósiles que se formaron a partir de restos de organismos antiguos, contienen grandes cantidades de compuestos carbonados como resultado de la fotosíntesis ocurrida hace millones de años y quedaron “atrapados” en depósitos fósiles.

### **El carbono y el clima**

Se le llama *clima* al promedio de variables como temperatura atmosférica, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones a lo largo de periodos de tiempo que contemplan varias décadas (Conde, 2006). Existen diversos factores, naturales y de origen humano o antropogénicos que afectan el clima del planeta.

La fuente principal de energía es el Sol, pero el clima es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y la vida en el planeta (plantas y animales en los bosques y selvas, en océanos y en la atmósfera; (Conde, 2006).

Cambios en la energía del Sol, así como en la rotación, en la órbita o en la inclinación de la Tierra, han producido y producirán cambios climáticos naturales en todo el planeta.

El dióxido de carbono ha sido un componente importante de la atmósfera terrestre desde hace miles de millones de años cuando tenía una concentración cercana al 3% debido a la gran actividad volcánica (Jaramillo, 2004).

El almacenamiento del carbono en los depósitos fósiles supone en la práctica una rebaja de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono. Su liberación por el uso del carbón, del petróleo y del gas natural incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico, que sumado a la reducción del

potencial de absorción por la disminución de la masa vegetal, implica un desbalance donde la cantidad de CO<sub>2</sub> es mayor.

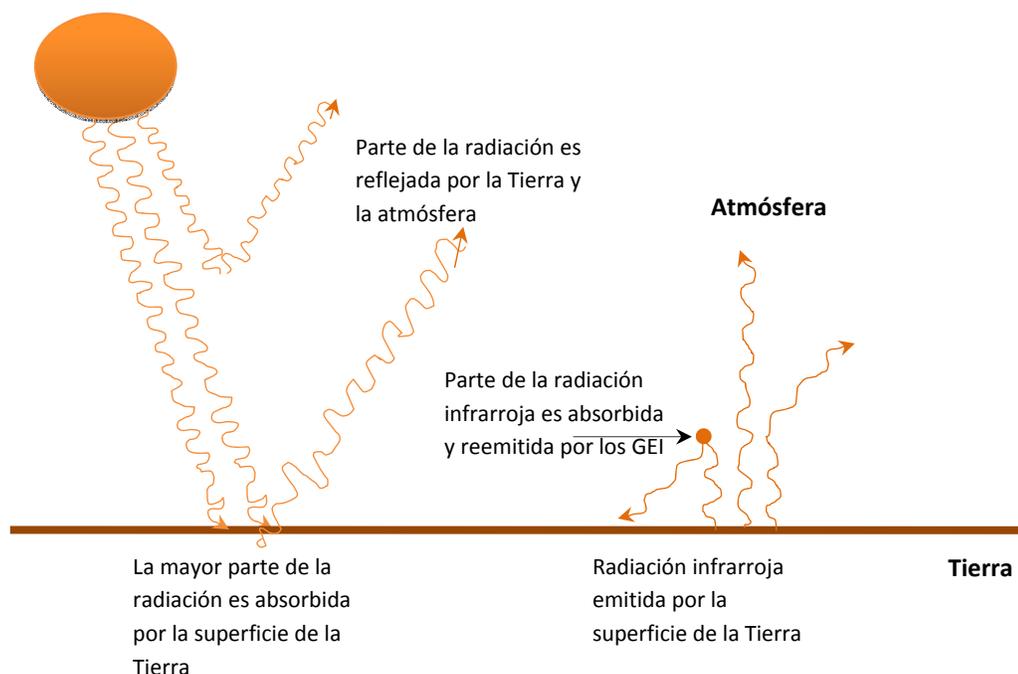
El efecto invernadero es un fenómeno producido por el incremento del CO<sub>2</sub> y otros gases en la atmósfera terrestre, que evitan que una parte de la energía solar que ingresa, salga hacia el exterior. La Tierra intercepta la radiación del Sol; de la cual, cerca de la tercera parte es reflejada y el resto es absorbida por diferentes componentes (atmósfera, océano, hielo, tierra y biota) del sistema climático. La energía absorbida es balanceada en el largo plazo por la energía que sale de la Tierra y de su atmósfera en forma de radiación infrarroja o calor y su magnitud está determinada por la temperatura de la Tierra (Figura 2).

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo demuestran los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. Las temperaturas de los once años comprendidos entre 1995 y 2006, figuran entre las 12 más altas en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial, que se realizan desde 1850.

El nivel de los océanos mundiales ha experimentado incrementos crecientes por la dilatación térmica y el deshielo de glaciares, casquetes de hielo y mantos de hielo polares. Los glaciares montañosos y la cobertura de hielo han disminuido en ambos hemisferios. De 1961 a 1992 el nivel del mar mundial creció un promedio de 1.8 mm/año [los niveles se ubicaron entre 1.3 y 2.3 mm], a partir de 1993 lo hizo a 3.1 mm promedio anual [los niveles oscilan entre 2.4 y 3.8 mm].

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.

Figura 2. Esquema simplificado del efecto invernadero, IPCC (1990)



### Principales Gases Efecto Invernadero y actividades humanas que los producen

La atmósfera está compuesta principalmente por nitrógeno (78.08%) y oxígeno (20.95%) cuya incidencia en el efecto invernadero es muy poca. El restante 0.97% lo constituyen el vapor de agua, que es el gas de efecto invernadero más importante, seguido del dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, el ozono y otros gases presentes en pequeñas cantidades, pero que también contribuyen al efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son necesarios para la vida, porque intervienen en la regulación de la temperatura de la superficie de la Tierra. Sin embargo, si la concentración de estos gases aumenta, también se incrementa la temperatura ya que actúan como una capa que impide la salida de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre (Figura 2). De acuerdo con mediciones, observaciones y modelos de diversos científicos, que están plasmados en los reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los GEI han venido incrementándose durante las últimas décadas, producto

principalmente de actividades humanas. Esto ha provocado un aumento en la temperatura del planeta de cerca de medio grado centígrado en los últimos 100 años, que a su vez ha provocado cambios en el clima. A los cambios naturales más los antropogénicos se le llama Cambio Climático Global (Le Treut, et al. 2007).

Los principales GEI son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los Gases fluorados: hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro del sulfuro ( $\text{SF}_6$ ), trifluoruro de nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ), trifluorometil pentafluoruro del sulfuro ( $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ), éteres halogenados y otros hidrocarburos halogenados no considerados en el protocolo de Montreal.

### Dióxido de carbono

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) resulta de la combinación de carbono y oxígeno. Se libera por la combustión de hidrocarburos, la descomposición de materia orgánica y por la respiración. Puede ser almacenado en cilindros, en tanques cuando está licuado o en estado sólido (hielo seco).

El dióxido de carbono es el principal GEI. Su concentración en la atmósfera se incrementó de 290 partes por millón (ppm) de la era preindustrial a 389 ppm en 2010. La fuente primaria del incremento en las concentraciones de GEI es la quema de combustibles fósiles.

### Metano

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es el hidrocarburo alcano más sencillo que se produce naturalmente por la putrefacción anaeróbica de las plantas y puede constituir hasta el 97% del gas natural. La elevación de las emisiones de metano está asociada a la agricultura, la distribución del gas natural y tiraderos de basura. El metano es liberado también por procesos naturales, como en tierras húmedas y arrozales.

### Óxido nitroso

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un gas incoloro con un olor dulce y ligeramente tóxico cuya emisión está asociada a la producción y uso de fertilizantes, la quema de combustibles fósiles y la combustión de biomasa. Los procesos naturales en el suelo y los océanos, como la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos y la actividad volcánica también liberan  $\text{N}_2\text{O}$ .

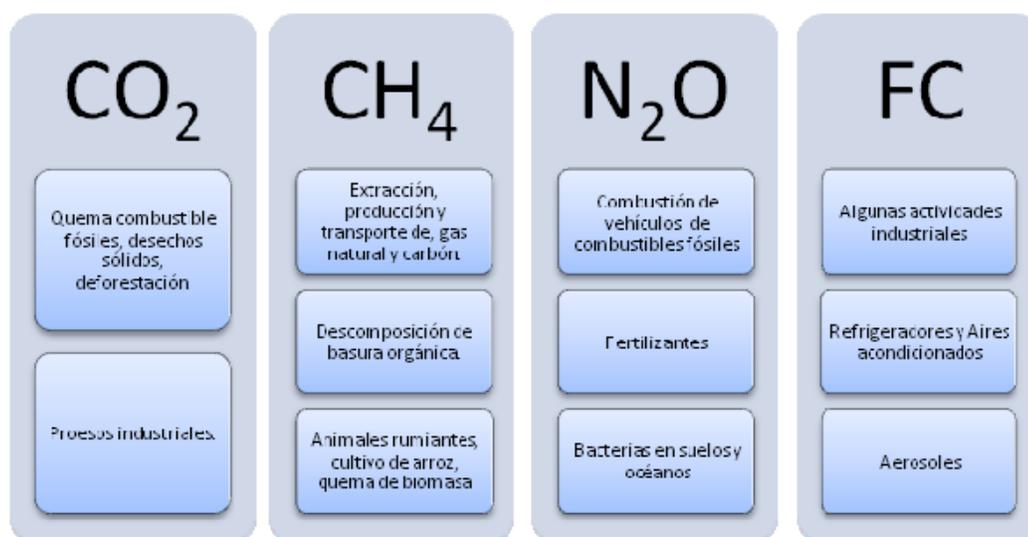
### Vapor de agua

El vapor de agua es el gas de efecto invernadero más abundante y su concentración en la atmósfera se debe a causas naturales, pero la influencia antropogénica es indirecta ya que el calentamiento global puede aumentar la humedad y con ello el vapor de agua.

La influencia de vapor de agua en el calentamiento se da porque las moléculas de agua atrapan el calor proveniente del sol, lo distribuyen en la tierra y posteriormente lo expulsan a la atmósfera.

La Figura 3 presenta los gases de efecto invernadero y las principales actividades humanas que los provocan.

Figura 3. Gases de efecto invernadero y las principales fuentes antropogénicas que los originan



Fuente: Elaboración propia con base en PICC (2006a).

Cada gas de efecto invernadero tiene un impacto diferente dependiendo de su capacidad para absorber calor (potencial de calentamiento) y su tiempo de vida en la atmósfera. La Tabla 2 muestra estas características y las concentraciones en la atmósfera de los principales gases a lo largo de los últimos 2,000 años. Se puede observar un incremento de la concentración a partir del año 1750, que se atribuye a las actividades humanas de la era industrial. Las unidades de

concentración se expresan en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb), que indica el número de moléculas del GEI por cada millón o billón de moléculas de aire seco.

El potencial de calentamiento (PC) se refiere a la capacidad que tienen estos gases de retener el calor en la atmósfera. Por tanto, la existencia en la atmósfera de altas concentraciones de gases con altos índices de PC acelera el cambio climático.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es la base de cálculo del PC de los otros gases y su potencial de calentamiento es 1. Por ejemplo, el potencial de calentamiento del metano es 21, esto quiere decir que su impacto en el calentamiento global es 21 veces más alto que el del  $\text{CO}_2$ . Los hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) son los gases que más contribuyen al calentamiento global, algunos son hasta 20,000 veces más poderosos que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en su capacidad para capturar el calor que posteriormente queda atrapado en la atmósfera por miles de años y dado que son creados sólo por actividades humanas, no hay proceso natural alguno que los remueva de la atmósfera.

Las emisiones de cada gas pueden ser convertidas a unidades de carbono equivalente, al multiplicarlas por su potencial de calentamiento de la atmósfera, de tal forma que se expresan en millones de toneladas anuales de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ).

Algunos de los GEI tienen larga vida en la atmósfera, es decir, una vez que se emiten, permanecen por varias centenas de años en la atmósfera; lo que significa que el cambio climático que producen persistirá por muchos años, inclusive, si las emisiones se estabilizaran o disminuyeran a partir de los siguientes años.

Tabla 2. Gases de Efecto Invernadero

| Gas                                       | Fuentes  | Concentración                          |                      | Tiempo de residencia en la atmósfera (años) | Potencial de calentamiento* |
|---|--|--|----------------------|---|-----------------------------|
|   |  | Desde período preindustrial hasta 1750 | Actual               |   |                             |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )     | Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, reacciones químicas en procesos de manufactura.                     | 280 ppm                                | 389 ppm (año 2010)   | 50 – 200                                    | 1                           |
| Metano (CH <sub>4</sub> )                 | Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles, escape de gas en minas y pozos petroleros. | 715 ppb                                | 1808 ppb (año 2010)  | 12  | 25                          |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)          | Producción y uso de fertilizantes nitrogenados deforestación, uso de leña.   | 270 ppb                                | 323.2 ppb (año 2010) | 120 – 150                                   | 298                         |
| Hidrofluoro - carbonos (HFCs)             | Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes  | 0                                      | 14 ppb (año 1998)    | 45 a 260                                    | 140 – 11,700                |
| Perfluoro - carburos (PFCs)               | Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.   | 40 ppb                                 | 80 ppb (año 1998)    | >50,000                                     | 6,500 – 9,200               |
| Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> ) | Emitido en procesos de manufactura y en la distribución de energía donde se usa como fluido dieléctrico.               | 0                                      | 7.2 ppb (año 2010)   | 3, 200                                      | 23,900                      |

\* Estos valores corresponden a los del cuarto reporte del PICC.

Fuente: Forster et al. 2007 y Organización Meteorológica Mundial, 2011.

Entre el año 1970 y el 2004, las emisiones de los GEI crecieron en un 70%. Sin embargo, las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de combustibles fósiles lo hicieron en un 80%.

Los escenarios futuros muestran que de seguir las tendencias en el incremento de emisiones de GEI, la temperatura entre 2000 y 2100 se incrementará de 1.8°C a 4°C (en 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.

## **II.2 LAS AGENDAS DEL CLIMA**

El tema del cambio climático comenzó a preocupar a científicos en los albores del siglo XIX cuando se identificó el efecto invernadero natural. Doscientos años después el tema no sólo convoca a un número relevante de naciones, sino que forma parte de la política internacional, de la política interna de esas naciones y de numerosas organizaciones de la sociedad civil, por los impactos antropogénicos en el incremento de las emisiones de GEI.

### **Política internacional de cambio climático**

En 1988 por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (PICC) con la finalidad de analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender el riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo.

### **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático (UNFCCC)**

La Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra se realizó en 1992 con la participación de 172 países y de 2,400 representantes de organizaciones no gubernamentales.

Los diferentes temas tratados reconocen la necesidad del cuidado del ambiente y también del desarrollo económico y social de los países, especialmente los no industrializados, denominado desarrollo sostenible. Los resultados de la cumbre se resumen en:

- La Agenda 21 que es un plan de acción con metas ambientales y de desarrollo para el siglo XXI.
- Declaración de principios forestales en la que se definen los derechos y deberes de los Estados.
- Declaración de principios sobre los bosques.
- Tres Convenciones de las Naciones Unidas con estrecha vinculación: una sobre la diversidad biológica, otra sobre cambio climático (CMNUCC) y la tercera sobre desertificación.

Se puntualizó la necesidad de la cooperación entre países para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra y el término desarrollo sostenible tomó fuerza en los diversos discursos que promovían el buen uso de los recursos naturales. Así la frase final de la declaratoria de la CMNUCC es *“Decididas [las naciones] a proteger el sistema climático para las generaciones presentes y futuras”*.

La CMNUCC reconoce que el clima es un recurso mundial, compartido por todos los países, cuya estabilidad puede verse afectada por las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana.

Dentro de la CMNUCC, los países generan, intercambian y comparten información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y las políticas nacionales en la materia, preparan estrategias nacionales que les permita reducir la generación de los gases de efecto invernadero y adaptarse a los impactos previstos del cambio climático y cooperan en la preparación de métodos para mitigar los efectos y adaptarse de mejor manera a los impactos esperados.

La CMNUCC distingue a los países que la forman en función de su desarrollo económico, así los cataloga como países Anexo I y países No Anexo I.

El Anexo I integra a los países industrializados miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1992, además de otros países con economías consideradas en transición, que incluyen a la Federación Rusa y otros estados de Europa del Este. Estos países tienen el compromiso de reducir en un 5% como mínimo, sus emisiones de gases de efecto

invernadero con respecto al nivel de emisiones que registraron en 1990. Este compromiso debía cumplirse durante el período comprendido entre 2008 y 2012.

A partir de 1993 la CMNUCC se reúne anualmente en eventos llamados Conferencias de las Partes (COP, por sus siglas en inglés) para establecer acciones relativas a la problemática del cambio climático. Así, la CMNUCC está integrada por dos cuerpos principales: la Conferencia de las Partes y los Órganos Subsidiarios.

La Conferencia de las Partes (COP) es la máxima autoridad para la toma de decisiones; la COP está integrada como una asociación de todos los países miembros de la Convención.

Adicionalmente, existen dos Órganos Subsidiarios: el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT) y el Órgano Subsidiario de Ejecución (OSE). Ambos asesoran a la COP en cuestiones específicas.

La primera de las COP se hizo en Berlín, Alemania en 1995, después de la insistente promoción de un régimen climático mundial de parte de la Conferencia Mundial sobre el Clima y del Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

### **Tercera Conferencia de las Partes. Protocolo de Kioto**

La tercera COP se celebró en 1997 en Kioto, Japón y su resultado más relevante fue la firma del Protocolo de Kioto, considerado como el primer paso importante hacia un “régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de GEI”, con una arquitectura que facilitaría la firma futura de cualquier acuerdo internacional sobre el cambio climático.

La conclusión del primer período de compromiso del Protocolo de Kioto en 2012, debía estar acompañada del establecimiento de un nuevo marco internacional que garantizaría realizar las severas reducciones de emisiones consideradas como necesarias por el PICC.

El protocolo establece metas vinculantes para 37 países industrializados y la Unión Europea, de reducción de emisiones. De esta forma reconoce que son esos países los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI en la atmósfera y define un principio central de

responsabilidad común pero diferenciada. Su objetivo es garantizar que no se duplique la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera para los próximos 150 años.

Este protocolo promovió el diseño de leyes y políticas en diferentes países para cumplir sus compromisos, definió el mercado del carbono e impulsó a las empresas a considerar la inclusión del ambiente en la toma de decisiones.

Este tratado internacional fue ratificado por México el 7 de septiembre del año 2000 (Poder Ejecutivo Federal, 2000) y entró en vigencia el 16 de febrero del 2005 y debía culminar en 2012 con resultados positivos de emisiones reducidas.

### **Decimo tercera Conferencia de las Partes**

En el marco de las negociaciones en 2005 (COP 13) se acuerda el Plan de Acción de Bali, se crean dos grupos de trabajo: uno de Largo Plazo y otro sobre el Protocolo de Kioto. A raíz del Plan de Acción de Bali se incluye la mitigación como tema para los países en desarrollo, bajo el principio de responsabilidad común pero diferenciada. Se diseñan las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs, por sus siglas en inglés), que además de contribuir a reducir emisiones en estos países, deberán contribuir al desarrollo sustentable, la erradicación de la pobreza y otros co-beneficios. También se elaboró la "hoja de ruta" que conduciría a la construcción de un tratado internacional vinculante en Copenhague en 2009.

### **Décimo quinta Conferencia de las Partes**

La COP 15 celebrada en Copenhague, Dinamarca en el año 2009 se fijó como objetivo "la conclusión de un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima, que se aplicaría en todo el mundo partir de 2012". Así, esta conferencia debía preparar el período post-Kioto.

La meta de largo plazo, al 2050, implicaba la reducción mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> en al menos un 50% respecto a 1990, para conseguirlo los países se fijarían objetivos intermedios. Así, para el año 2020, los países industrializados deberían reducir entre un 25% y un 40%, sus emisiones de GEI, respecto a los niveles de 1990 y alcanzar una reducción entre el 80% y el 95% al 2050.

Durante las negociaciones previas a la conferencia se marcó la diferencia de visiones entre los países desarrollados y las naciones en desarrollo:

- Mientras que la Unión Europea adoptó en 2008 un plan de reducción del 20% de sus emisiones de CO<sub>2</sub> para el 2020, ningún otro país a la fecha, había expresado metas concretas. Los países en desarrollo y los países más pobres exigieron el compromiso de parte de Estados Unidos y mayor esfuerzo de los otros países desarrollados. El presidente de EE.UU.<sup>4</sup> participó en la cumbre, se comprometió a reducir las emisiones a los niveles de 1990 y anunció su intención de buscar una reducción del 80% para 2050. También prometió realizar fuertes inversiones para el desarrollo de fuentes renovables de energía.
- Para los países en desarrollo resulta injusto tener que cumplir metas de reducción de emisiones, que significan una penalización por el consumo de combustibles fósiles, cuando la mayor incidencia del cambio climático se da por la demanda energética de los países ricos. El dilema es que la economía de esos países se sustenta fundamentalmente en el uso de combustibles fósiles, por tanto el dilema es cómo promover el crecimiento económico sin perjudicar al ambiente, en un entorno de crisis económicas recurrentes.
- Sin embargo, ciertos países en desarrollo se comprometieron con objetivos de reducción. En marzo de 2009, México fue el primer país en desarrollo en proponer una meta: la disminución en un 50% de sus emisiones de GEI para 2050. China anunció en septiembre de 2009, que intentaría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB para 2020 con respecto al nivel de 2005 y el desarrollo de energía renovable y nuclear para que el 15% de la energía esté basada en fuentes alternas. En noviembre de 2009, Brasil propuso reducir las emisiones derivadas de la deforestación (principal fuente de emisiones de GEI) en un 80% en 2020. India, uno de los mayores emisores de los países en vías de desarrollo, anunció su disposición de aprobar un plan nacional pero no se comprometió a firmar objetivos vinculantes de reducción de emisiones para combatir un problema que crearon los países ricos.

---

<sup>4</sup> Estados Unidos se retiró del Protocolo de Kioto en 2001.

- Desde la perspectiva de la ONU el mundo occidental debería ayudar a los países pobres a prepararse para las consecuencias del cambio climático, para ello creó un Fondo de Adaptación para ayudar a los países en desarrollo a proteger sus economías contra el impacto potencial del cambio climático, pero no contó con la contribución financiera de todos los países desarrollados.

Así el documento final de Copenhague se caracterizó por la falta de acuerdos vinculantes y por:

- Presentar de forma orientativa, la reducción de emisiones que cada país ofreció en la cumbre.
- No incluir la verificación de emisiones. La transparencia se limitó a un sistema "internacional de análisis y consultas" por definir, y a la comunicación de las emisiones de cada país a la ONU con respeto de la soberanía nacional. Las reducciones de emisiones patrocinadas con dinero internacional sí estarán sujetas a un sistema de comprobación.
- No establecer metas de reducción para 2050.
- No incluir la recomendación del PICC de reducir para 2020 las emisiones de los países desarrollados entre un 25% y un 40% sobre el nivel que tenían en 1990.
- Mantener el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a dos grados centígrados.

### **Décimo sexta Conferencia de las Partes**

La COP16 celebrada en Cancún, México, generó un paquete de decisiones denominado Acuerdos de Cancún que, según las Naciones Unidas, promoverá el compromiso de las naciones para mejorar las acciones sobre el cambio climático sin comprometer su desarrollo.

En resumen estos acuerdos definieron objetivos en los temas de:

### Mitigación

- Establecer objetivos claros para reducir a largo plazo, las emisiones antropogénicas de GEI con el fin de mantener la elevación de la temperatura media mundial por debajo de dos grados centígrados.
- Fomentar la participación de todos los países en la reducción de estas emisiones, en función de sus responsabilidades y capacidades.

### Transparencia

- Garantizar el conocimiento internacional de:
  - Las medidas que tomen los países.
  - Del progreso mundial hacia el objetivo a largo plazo
- Garantizar que se examine de manera oportuna dicho progreso.

Para ello se acordó mejorar el monitoreo, la presentación de informes y la verificación, así como las consultas internacionales y el análisis de los procedimientos para todos los países.

### Tecnología

- Impulsar el desarrollo y la transferencia de tecnología limpia para fortalecer los esfuerzos de lucha contra el cambio climático. Para ello se creó un Mecanismo de Tecnología, que comprende el Comité Ejecutivo sobre Tecnología y el Centro y Red de Tecnología del Clima.

### Financiamiento

- Movilizar y proporcionar mayores fondos a corto y largo plazo para que los países en desarrollo tomen más medidas y más eficaces. Se creó el Fondo Verde del Clima, un Comité de Transición (para el diseño del Fondo) y un Comité Permanente (para supervisar y coordinar los flujos del Fondo). El Fondo contará con 100 millones de dólares anuales para financiar los proyectos que contemplen medidas de adaptación y de mitigación.

### Adaptación

- Ayudar a las personas especialmente vulnerables a adaptarse a los impactos inevitables del cambio climático, a través del Marco de Adaptación y del Comité de Adaptación, (creados en la COP16).

### Bosques

- Proteger los bosques del mundo, que son un gran depósito de carbono. Esto incluyó la definición de los elementos marco y clave del mecanismo REDD+, que incluye la canalización de recursos a las comunidades dedicadas a la conservación de los bosques

### Capacitación

- Fomentar la capacidad mundial, especialmente en países en desarrollo, para superar el reto de manera conjunta.
- Crear las instituciones y sistemas eficaces que garanticen el cumplimiento de estos objetivos.

Sin embargo, las negociaciones alcanzadas no representaron un acuerdo global vinculante capaz de sustituir al Protocolo de Kioto.

### **Décimo octava Conferencia de las Partes**

Al igual que la COP17 y de los anteriores, el objetivo de la COP18 celebrada en Doha, Catar en 2012 fue el de identificar y avanzar en la formulación de un acuerdo climático global.

Se realizaron esfuerzos por simplificar las negociaciones y sólo se lograron resultados mínimos reunidos en el acuerdo denominado *Puerta Climática de Doha*, que prorroga hasta 2020 el período del compromiso del Protocolo de Kioto, expirado en 2012. Esta prórroga tiene obligaciones sólo para los países de la Unión Europea, Australia, Noruega y Croacia. Además, definió como meta alcanzar en 2015 que el pacto sea firmado también por Estados Unidos, China, India y Rusia.

Como conclusiones de la cumbre destaca la decisión de aumentar las metas de reducción de emisiones de GEI y de apoyo en la adaptación de los países vulnerables, ya que a pesar de los avances en mitigación, las emisiones globales siguen aumentando.

El acuerdo aplaza hasta 2013 las negociaciones sobre la demanda de apoyo financiero para los países en vías de desarrollo. En este sentido sólo se propuso que antes del 2020, los recursos del Fondo Verde para el Clima alcancen los 100.000 millones de dólares. También se avanzó en la creación de un fondo que permita a los países en desarrollo afrontar los gastos que implican las pérdidas y daños causados por el cambio climático.

### **III. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA.**

El texto presentado a continuación resume el empleo del enfoque de sistemas y la metodología de los sistemas suaves como marco de referencia para el análisis del sistema de información del sector energético y para el diseño de la estrategia de consecución de la información y de construcción de escenarios de emisiones y de mitigación.

#### **III.1. ENFOQUE DE SISTEMAS**

Un sistema es un conjunto de unidades integradas de tal manera que forman un todo, una entidad lógica y funcional. Esa integración le proporciona al sistema mayor valor que aquél que tiene la suma de esas unidades.

El enfoque de sistemas es una metodología para el diseño de sistemas, que a partir de un análisis que va de lo particular a lo general, cuestiona la naturaleza del sistema y su propósito, respecto a un sistema mayor o suprasistema.

La evaluación del propósito del sistema en su diseño actual se realiza sobre su desempeño y en términos del grado de divergencia del sistema respecto al diseño apropiado.

Generalmente el diseño apropiado surge de la planeación, evaluación e implantación de alternativas innovadoras y creativas para el sistema, que promueven el cambio.

#### **III.2. METODOLOGÍA DE LOS SISTEMAS SUAVES**

La metodología de los sistemas suaves proporciona una estructura de análisis que facilita la solución de problemas asociados con la generación de información (Suárez, 2002) como los señalados en el capítulo I. Su proceso básico se expresa como un modelo que permite dar estructura u orden a una situación compleja de una determinada organización. Situaciones que se manifiestan como consecuencia de la variedad de puntos de vista o intereses de sus miembros.

Este orden inicia con la identificación de los Sistemas de Actividades Humanas (SAH) y su modelación, lo que facilita el reconocimiento y entendimiento de la complejidad y la diversidad de puntos de vista de los involucrados. Un SAH es un modelo conceptual que vincula las actividades lógicamente necesarias para el desarrollo de un propósito. Por lo tanto el corazón de

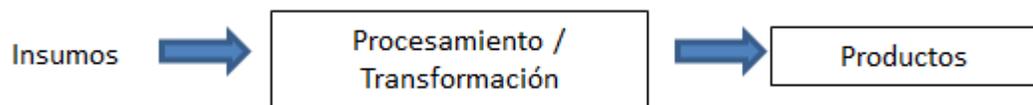
un SAH es la declaración explícita de su propósito. Dicha declaración recibe el nombre de definición raíz, pues a partir de ésta que se va derivando el cuerpo sistémico de actividades.

Esta definición raíz se formula a través de la identificación de seis elementos:

1. Cliente: Receptor (beneficiario o afectado) del proceso de transformación.
2. Actores: Agentes que llevan a cabo el proceso de transformación.
3. Transformación: Proceso de transformación que realiza el sistema.
4. Visión del mundo: Perspectiva o punto de vista que da un significado particular a la definición raíz.
5. Propietario: Dueño del sistema.
6. Ambiente: Ambiente en el que se desenvuelve el sistema y las interacciones con sistemas mayores, las cuales generalmente son consideradas como dadas.

El proceso de transformación que realiza el sistema es el que la da sentido, propósito de existir. Puede ser expresado como Diagrama de caja negra como en la figura 4, en el cual se identifican los insumos de entrada que serán procesados o transformados en productos o resultados.

Figura 4. Diagrama de caja negra para graficar el proceso de transformación



A partir del proceso de transformación y de la descripción de las acciones involucradas en el mismo, se procede a elaborar el modelo conceptual del sistema y sobre dicho modelo se realizan las validaciones de su conceptualización. Una vez validado el modelo, se procede a la formulación del subsistema de vigilancia y control de las operaciones del sistema. En esta fase, la divergencia entre lo que se espera del sistema y lo que realmente hace, permite identificar la problemática y proponer acciones para su rediseño.

### III.3. APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE SISTEMAS Y LA METODOLOGÍA DE SISTEMAS SUAVES.

Dada la problemática planteada en el capítulo I, el Sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía del Gobierno Federal es el caso de estudio que se analiza, ya que este sistema concentra en una base de datos, la información estadística generada por las empresas (Pemex, CFE), las comisiones (Comisión Reguladora de Energía –CRE-, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía –CONUEE) e institutos (IMP) del sector, por diversos sectores industriales y otros institutos de investigación (como el CIECO-UNAM para el caso de consumo de leña).

La combinación de los dos enfoques metodológicos de análisis permitió modelar el sistema en términos de sus relaciones y su ubicación espacial, temporal y sectorial. Así, el sistema ofrece información del sector a nivel nacional y para algunos datos la desagrega a nivel estatal. Más que su temporalidad, interesa la vigencia del sistema en términos de la capacidad de cumplir con su funcionalidad. En general, el sistema ofrece información útil para diferentes actividades y actores. Entre las primeras destaca la planificación del mismo sector energético a nivel nacional y regional, la investigación que llevan a cabo las instituciones del sector, así como del sector académico y para la consulta de todo público. La dimensión sectorial ubica al sistema en las actividades secundarias de la economía, específicamente la industria petrolera y la de generación de electricidad.

La definición raíz del sistema se presenta en la figura 5. El punto de vista con la que se desarrolló esta definición viene dado por la información requerida para elaborar los inventarios y escenarios de emisiones y de mitigación de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Así, los clientes directos del sistema bajo ese punto de vista, son los funcionarios de gobierno encargados de la política de cambio climático de sus entidades federativas, aunque no se descarta la participación de otros clientes, como serían los consultores o asesores en la materia. El Sistema de Información Energética (SIE) concentra, como se expuso antes, la información estadística del sector, pero los actores principales para este estudio son Pemex y CFE que son las empresas paraestatales que proporcionan al SIE la información de consumo final de la energía que sirve para estimar las emisiones y los escenarios de emisiones y de mitigación para los PEACC.

La definición raíz de la figura 5, expresa en términos de la visión de las necesidades de información de un PEACC, que el SIE es un instrumento que proporciona información útil para la construcción de los Programas Estatales de Acción Climática, ya que exige que las fuentes de información proporcionen sus datos bajo criterios y especificaciones uniformes por período y por entidad federativa.

Figura 5. Definición raíz del Sistema de información energética



Elaboración propia

La expresión actual del SIE es la que se muestra en la figura 5, en la que, a través del proceso de transformación, se identificaron las actividades relevantes del sistema que integra aquellos datos de producción y ventas de energéticos primarios y secundarios. El SIE procesa esa información para ofrecerla agregada o desagregada, por ejemplo: consumo nacional de GLP por sector.

A partir del modelo de la figura 5 y aplicando el proceso básico de la metodología de los sistemas suaves, se diseñó el sistema apropiado, que surgirá de varias iteraciones con aproximaciones a una solución más creativa que ofrezca la información con el detalle y uniformidad que se requiere para la elaboración de inventarios y escenarios de emisiones para las entidades federativas, comparables entre sí. Así se conceptualizó el modelo de la figura 6. Este modelo n-ésimo, deberá contemplar una reformulación de la base de datos, de tal manera que la captura de información de parte de las empresas paraestatales del sector energético, hayan validad previamente los datos de

los consumos de energía de las entidades federativas, asimismo establecerá criterios de sectorización y desagregación geográfica uniformes para la captura de los datos. Por tanto, la información resultante del proceso de transformación será útil para la elaboración de inventarios y escenarios de emisiones y de mitigación.

La solución que se expone detalladamente en el capítulo VII, es una solución intermedia, que utiliza los productos del SIE y formula criterios y supuestos que emplean datos nacionales para estimar los datos estatales de consumo de energía.

Figura 5. Modelo conceptual del Sistema de Información Energética.

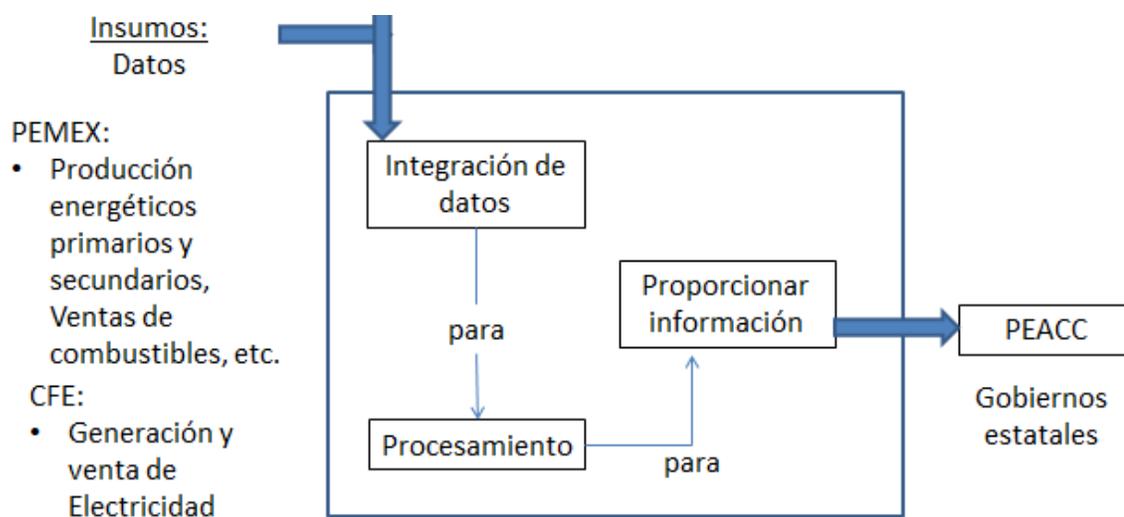
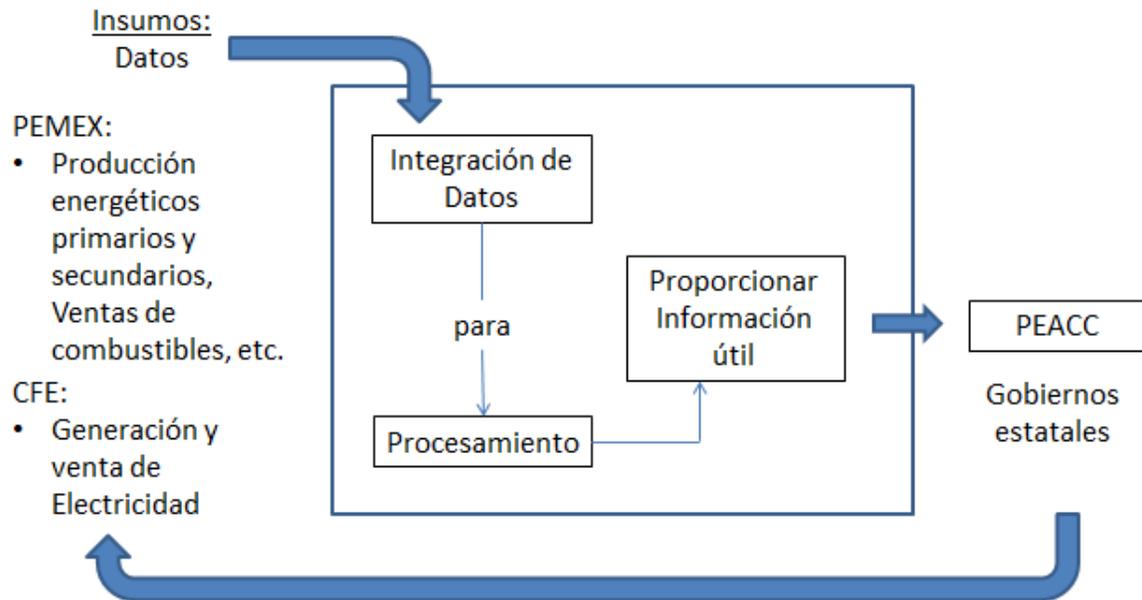


Figura 6. Modelo conceptual apropiado para que el Sistema de Información Energética satisfaga los requerimientos de los PEACC.



#### **IV. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PLANIFICACIÓN EN MÉXICO**

A continuación se aborda la atención de la problemática del cambio climático dentro de la planificación nacional.

México forma parte del grupo no Anexo 1, es decir, países con economías en desarrollo que no tienen compromisos de reducción de emisiones, en el protocolo de Kioto.

El 25 de abril del 2005 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se crea la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), con carácter permanente y con el objeto de coordinar, en el ámbito de sus respectivas competencias las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la prevención y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación a los efectos del cambio climático, y en general, para promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático y demás instrumentos derivados de la misma. La CICC está integrada por siete Secretarías de Estado.

El tema de cambio climático fue incluido por primera vez en el Plan Nacional de Desarrollo del período 2007 – 2012, en su eje rector 4 dedicado a la Sustentabilidad Ambiental. Con este contexto normativo, en 2007, la CICC presentó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) como base para elaborar un Programa Especial de Cambio Climático 2008 – 2012.

En junio de 2012 se publicó la Ley General de Cambio Climático que entró en vigor en octubre de ese mismo año, que constituye la plataforma para normar e impulsar la integración y corresponsabilidad de los gobiernos de los diferentes niveles, para el diseño y aplicación de una política pública de cambio climático cohesionada.

Este marco jurídico y normativo ha facilitado y promovido la instrumentación de acciones gubernamentales en la materia, que se complementan con herramientas y acuerdos de colaboración establecidos con otras instituciones, países y organizaciones internacionales.

También ha impulsado el acceso a recursos para el financiamiento de actividades y proyectos relacionados con el tema.

#### **IV.1. COMPROMISOS DE MÉXICO ANTE LA CMCC EN EL MARCO DEL PROTOCOLO DE KIOTO**

México es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático cuyo documento firmó el 13 de junio de 1992. El Congreso Nacional publicó la ratificación de la Convención en el Diario Oficial de la Federación el 7 de mayo de 1993 y entró en vigor para México, el 21 de marzo de 1994.

La CMNUCC establece en sus Artículos 4.1 y 12.1 el compromiso para los países firmantes de reportar las acciones que en materia de cambio climático realicen.

Así, como parte de la Convención y para cumplir con el citado compromiso, México prepara y presenta comunicaciones nacionales en las que informa sobre los avances en la atención de la problemática del cambio climático, a través de la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la adaptación a los efectos del cambio climático. Estos avances incluyen desde la generación de conocimiento hasta el diseño e instrumentación de políticas en la materia.

A la fecha México ha presentado cinco Comunicaciones Nacionales, la quinta comunicación se presentó a finales de 2012.

La Primera Comunicación de México, presentada ante la CMNUCC en 1997, incluyó el primer inventario de emisiones de gases efecto invernadero para México (1990) y los resultados de los primeros estudios de vulnerabilidad del país ante el cambio climático. La Segunda Comunicación Nacional presentada en 2001 comprendió la actualización del inventario de emisiones para el período 1994-1998 y los escenarios de emisiones futuras. La Tercera Comunicación presentó la actualización de dicho inventario al 2002. Por su parte, la Cuarta Comunicación incluyó la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para 2006, también se reportaron las acciones relacionadas con el cambio climático contempladas por los Programas Sectoriales de Energía, de Comunicaciones y Transportes, y de Desarrollo Social, asimismo se informó y publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático derivada del

Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales, esfuerzos que culminaron con la publicación del Programa Especial de Cambio Climático 2009 - 2012, el cual establece compromisos unilaterales de reducción de emisiones para el corto plazo.

Los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) se realizaron con base en los lineamientos y metodologías vigentes del PICC. Además del INEGEI, las comunicaciones presentan estudios de mitigación y adaptación al cambio climático así como información en materia de divulgación del tema y elaboración de materiales educativos.

La Quinta Comunicación Nacional pretende ayudar al país a transitar hacia un camino de consumo de energía más sustentable y de un uso menos intensivo de carbón. El contenido propuesto por la Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología en coordinación con las Secretarías de Estado que constituyen la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático comprende el Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2009; la evaluación de los impactos, políticas y medidas de vulnerabilidad y adaptación para hacer frente al cambio climático, variabilidad y eventos extremos; políticas y medidas de mitigación de emisiones de GEI para hacer frente al cambio climático, así como la descripción de las circunstancias nacionales y otra información relevante.

## **IV.2 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 (Poder Ejecutivo Federal, 2005; Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2009) y se basó especialmente en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC).

El objetivo del PECC fue presentar las metas del país en términos de reducción y de adaptación, llevarlas a la COP 15 y demostrar el potencial nacional para mitigar el cambio climático y

adaptarse a sus consecuencias, sin comprometer el desarrollo, e incluso con cierto beneficio económico.

El PECC está dividido en cuatro capítulos:

1. La visión de largo plazo, con sub-secciones de mitigación y adaptación al cambio climático;
2. Mitigación;
3. Adaptación y
4. Elementos de política transversal.

En términos de mitigación destacan la reconversión energética y los recursos forestales.

### **Reconversión Energética**

Se creó un fondo nacional de 1,000 millones de pesos para que en el año 2012 el 26% de la electricidad sea generada con fuentes renovables. Adicionalmente, se inscribieron dos proyectos de petróleo y gas en el Mecanismo de Desarrollo Limpio que buscan reducir aproximadamente 7.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o su equivalente.

Asimismo, se instrumentaron otras acciones como la sustitución de aparatos electrodomésticos antiguos por nuevos y más amigables con el medio ambiente. La meta contemplada en el Programa Especial de Cambio Climático para 2012 prevé la sustitución de casi 2 millones de refrigeradores y equipos de aire acondicionado, así como el reemplazo de más de 47 millones de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas u otras de mayor eficiencia. Con estas medidas, México dejaría de emitir alrededor de 4.73 MtCO<sub>2</sub>e y estaría ahorrando cerca de 7,871 GWh de energía eléctrica entre 2009 y 2012.

A pesar de lo expuesto en el PECC, según las cifras del Balance Nacional de Energía de 2010 (último publicado por la SENER) los hidrocarburos continúan siendo la principal fuente de energía primaria producida en el país, con una aportación de 90.2%, mientras que la energía producida a partir de fuentes renovables representó el 6.9%, el restante 2.9% está repartido entre energía nuclear (0.7%) y carbón mineral (2.2%).

### **Recursos forestales**

Los recursos forestales de México constituyen una gran oportunidad para mitigar el cambio climático. El Banco Mundial otorgó a México un crédito por 500 millones de dólares para financiar asistencia técnica e incrementar el conocimiento científico sobre las fuentes actuales de emisiones y sumideros de carbono. Adicionalmente, recibirá 15 millones de dólares por parte del gobierno de Noruega para reducir emisiones mediante conservación y reforestación de suelos.

Un ejemplo de las acciones emprendidas por México en este ramo, es la promoción del pago por servicios ambientales, que constituye una fuente de ingreso alternativa para los propietarios de bosques y selvas y un estímulo compensatorio por no realizar actividades extractivas en sus terrenos. El PECC reporta que a la fecha de su publicación se habían incorporado 2.3 millones de hectáreas de zonas boscosas en buenas condiciones de conservación al esquema de pago por servicios ambientales, con lo que se evitó la liberación a la atmósfera de 1,200 a 2,400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o su equivalente.

### **Adaptación**

En materia de adaptación, impulsó la estrategia central que plantea el Convenio Marco sobre Servicios Climáticos. Dicha estrategia consiste en la generación de productos específicos para que cada sector económico y social cuente con los elementos técnicos necesarios para adaptarse al cambio climático, reduciendo su impacto negativo y obteniendo el mayor beneficio posible.

Parte de estos productos refieren a la asesoría para que las entidades federativas elaboren sus propios programas estatales de acción para hacer frente al cambio climático. La respuesta de los gobiernos estatales se presenta en el subcapítulo siguiente.

El estudio titulado Evaluación del Programa Especial de Cambio Climático para escenario de emisión y mitigación de gases de efecto invernadero en la categoría de energía, elaborado por el Instituto de Ingeniería para el Programa Universitario de Cambio Climático de la UNAM (Sheinbaum, 2011), especifica diferentes fallas del PECC:

- No presenta la metodología utilizada para estimar los escenarios base y de mitigación de emisiones de GEI.

- Los escenarios de mitigación de mediano y largo plazo se presentan sin desglose de las metas y las tecnologías y medidas de mitigación.
- Estima que las emisiones de México para el escenario base (año 2012) en la categoría de energía serían de 490 MtCO<sub>2</sub>eq. Esta cifra fue superada en 2008 (INE, 2008b) cuando las emisiones de México alcanzaron 491.5 MtCO<sub>2</sub>eq. Como se mencionó antes la matriz energética del país en 2010, estuvo formada principalmente por los combustibles fósiles, por tanto se subestimó la meta y no se cumplió con el objetivo de la reconversión energética. La subestimación de las metas afecta también la estimación de los escenarios de mitigación.
- Existe una contradicción metodológica en la elaboración de la línea base y del escenario de mitigación, ya que la línea base incluye los proyectos de la prospectiva del sector energía y las medidas de mitigación, también incluye acciones contempladas en la prospectiva (por ejemplo fuentes renovables para 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.

### **IV.3 LA LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO**

En noviembre de 2012 fue aprobada por la Cámara de Diputados la Ley General de Cambio Climático cuyo objeto se expone en diferentes artículos de la misma:

- I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
- II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;

- III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;
- IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;
- V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;
- VI. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y
- VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

En particular en el Artículo 58 se reconoce como instrumento de planeación los programas de las entidades federativas y en los artículos 71 y 72 se establece lo siguiente:

Artículo 71. Los programas de las Entidades Federativas en materia de cambio climático establecerán las estrategias, políticas, directrices, objetivos, acciones, metas e indicadores que se implementarán y cumplirán durante el periodo de gobierno correspondiente de conformidad con la Estrategia Nacional, el Programa, las disposiciones de esta Ley y las demás disposiciones que de ella deriven.

Los programas de las Entidades Federativas se elaborarán al inicio de cada administración, procurando siempre la equidad de género y la representación de las poblaciones más vulnerables al cambio climático, indígenas, personas con discapacidad, académicos e investigadores.

Artículo 72. Los programas de las Entidades Federativas incluirán, entre otros, los siguientes elementos:

- I. La planeación con perspectiva de largo plazo, de sus objetivos y acciones, en congruencia con la Estrategia Nacional y el Programa;
- II. Los escenarios de cambio climático y los diagnósticos de vulnerabilidad y de capacidad de adaptación;

III. Las metas y acciones para la mitigación y adaptación en materia de su competencia señaladas en la presente Ley y las demás disposiciones que de ella deriven;

IV. La medición, el reporte y la verificación de las medidas de adaptación y mitigación, y

V. Los demás que determinen sus disposiciones legales en la materia.

Artículo 73. La Estrategia Nacional, el Programa y los programas de las Entidades Federativas deberán contener las previsiones para el cumplimiento de los objetivos, principios y disposiciones para la mitigación y adaptación previstas en la citada LGCC.

De esta forma la LGCC viene a dar soporte normativo y por su carácter obligatorio deberá constituirse en el eje propulsor de la cohesión de los tres órdenes de gobierno para la formulación, gestión y seguimiento de la política pública en materia de cambio climático.

#### **IV.4 LOS PROGRAMAS ESTATALES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y LA MITIGACIÓN DE GEI**

Los estados de la República y el Distrito Federal también han entrado al esquema de elaborar y promover Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). En 2006, el Gobierno del Distrito Federal publicó la Estrategia Local de Acción Climática y en 2008 el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México. Posteriormente estos esfuerzos han venido ampliándose. Veracruz, Nuevo León, Guanajuato y Chiapas e Hidalgo cuentan con Programas y se prevé que Baja California y Durango concluyan sus programas en 2012. Los estados restantes se encuentran en diferentes etapas de sus programas. Asimismo Guanajuato, Puebla y el Estado de México tienen su Estrategia de Cambio Climático Estatal y el municipio de Chihuahua presentó su Plan de Acción Climática en septiembre de 2009. Desde 2007, el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha emprendido un programa de generación y fortalecimiento de las capacidades técnicas locales para la elaboración de estos programas. A través de la preparación y disseminación de guías de apoyo, impartición de cursos de capacitación presenciales y a distancia y participación en el seguimiento y revisión técnica de avances de las investigaciones que integran los PEACC.

La importancia de la elaboración de PEACC está principalmente orientada a esquemas de adaptación al cambio climático. Es decir, los estados deben evaluar la vulnerabilidad de su población ante cambios esperados en clima, precipitación, elevación del nivel del mar, disminución de glaciares, etc., y planear con anticipación esquemas e infraestructura para la reducción de dicha vulnerabilidad al cambio climático. Para ello, el INE ha elaborado una guía técnica ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)). Los beneficios de la dedicación de esfuerzos o recursos para la adaptación al cambio climático por parte de los gobiernos de los estados y municipios son indiscutibles. Por ejemplo, preparar a la población en general y a las instituciones involucradas para la prevención y atención de los efectos de posibles inundaciones o carencias de agua representa ventajas para la población y el gobierno.

Los PEACC también incluyen capítulos de inventarios y mitigación de GEI. Sin embargo, es necesario aclarar, que en el caso de la mitigación de GEI, los beneficios no repercuten en las variables asociadas al clima de las entidades. Es decir, el cambio climático es un fenómeno global y sus impactos sólo disminuirán, si se actúa reduciendo las emisiones de GEI de todo el planeta.

La elaboración de inventarios de emisión por entidad federativa y de proyección o escenarios de emisión permitirá un mejor conocimiento en el país de la contribución de México a las emisiones totales. Además, la mitigación de GEI puede brindarle a las entidades, oportunidades de acceso a los mecanismos de mercado de emisiones y con ello financiar proyectos que no sólo reduzcan emisiones de GEI, sino también contribuyan al desarrollo sustentable de la entidad.

En el marco de la discusión internacional hacia un nuevo arreglo post-Kioto, uno de los esquemas acordados por la CMNUCC son las acciones de mitigación apropiadas al contexto nacional o (NAMA, por sus siglas en inglés), que permitirán adquirir certificados de carbono por el desarrollo de proyectos. Este nuevo esquema representa otra oportunidad de desarrollar proyectos que mejoren sus condiciones de consumo energético y el desarrollo de nuevas tecnologías, con financiamiento externo.

También es necesario recordar que el alcance de las políticas de mitigación de GEI en los Estados está limitado por las competencias legales. Por ejemplo, los establecimientos industriales se clasifican de acuerdo a su jurisdicción, en federales y locales, con base en el artículo 111 bis de la

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en donde se establecen los giros de jurisdicción federal (Química, del Petróleo y Petroquímica, Pinturas y Tintas, Metalúrgica, Automotriz, Celulosa y Papel, Cementera y Calera, Asbesto, Vidrio, Generación de Energía Eléctrica y Tratamiento de Residuos Peligrosos).

Asimismo, de acuerdo con el artículo 5 de la LGEEPA son de competencia federal la expedición de las normas oficiales mexicanas y la vigilancia de su cumplimiento, así como la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de las aguas nacionales, la biodiversidad, la flora, la fauna y los demás recursos naturales de su competencia, la regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y el control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal.

La distribución de competencias en materia de regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos forestales y el suelo, está determinada por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable que supedita el diseño, formulación y aplicación de su política forestal a la política forestal nacional.

También son de competencia federal, el fomento a la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente, en coordinación con las autoridades de los Estados, el Distrito Federal y los Municipios; así como el establecimiento de las disposiciones que deberán observarse para el aprovechamiento sustentable de los energéticos.

En estos marcos jurídicos, las acciones de mitigación de GEI de los estados y municipios se circunscriben a la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales no peligrosos, así como las asociadas a la elaboración y la vigilancia del acatamiento de las normas y otras disposiciones ambientales de obligatorio cumplimiento para la pequeña y mediana empresa (PyME) industrial, comercial y de servicios y el transporte urbano. En el caso de las PyMEs las políticas de gestión integral de recursos, reciclaje, disminución de uso de materiales, etc., influyen indirectamente en el uso de combustibles y en las emisiones de GEI.

La Tabla 3 muestra los ejemplos de las actividades en las que los estados pueden actuar para

regular y promover la mitigación de GEI, así como otros beneficios ambientales generados por estas políticas.

Tabla 3. Ejemplos de áreas de actuación de los estados y el DF  
para la mitigación de GEI

| Sector                 | Causa   | Gases   | Posibles acciones  | Beneficios ambientales adicionales   |
|------------------------|---|---|--|--|
| Energía:<br>Transporte | Combustión de gasolina, diesel, gas LP y gas natural.   | Principalmente CO <sub>2</sub> , en menor medida CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | Disminución del uso del auto particular por:<br>· Promoción de transporte público<br>· Regulación de días, horarios o zonas de circulación (tipo hoy no circula).<br>Promoción de cambio de combustibles:<br>· Regulación o incentivos para uso de biocombustibles.<br>· Regulación o incentivos para uso de gas natural en sustitución de diesel o de gasolina (con sistema de control de fugas).<br>Aumento en el rendimiento vehicular:<br>· Incentivos para los autos con mejor rendimiento vehicular. | Disminución de la contaminación atmosférica.<br><br>Disminución de contaminación atmosférica siempre y cuando se incorporen tecnologías de control de contaminación especialmente para NOx<br><br>No implica reducción de emisiones locales debido a que autos con bajos rendimientos pueden tener convertidores catalíticos muy eficientes o viceversa. |
| Energía:<br>Industria  | Combustión de derivados de petróleo, gas natural, coque, carbón. Emisiones en la generación por el consumo de electricidad. | Principalmente CO <sub>2</sub> , en menor medida CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | Promoción de eficiencia energética en las industrias de competencia estatal (principalmente PyMEs).<br>· Información, regulación o incentivos.<br>Promoción de cambio de combustible:<br>· Regulación o incentivos para uso de biocombustibles.  | El ahorro de energía eléctrica no tiene beneficios ambientales locales directos.<br><br>La disminución en el consumo de combustibles disminuye la contaminación atmosférica local y puede disminuir uso de agua.   |

| Sector                   | Causa  | Gases   | Posibles acciones  | Beneficios ambientales adicionales  |
|--------------------------|--|---|--|---|
|                          |  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Regulación o incentivos para uso de gas natural en sustitución por diesel o gasolina (con sistema de control de fugas).</li> </ul>                                | Disminución de contaminación atmosférica siempre y cuando se incorporen tecnologías de control de contaminación especialmente para NOx  |
|                          |  |   | Promoción de precalentamiento de agua usando energía solar:  |   |
|                          |  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Información, regulación o incentivos.</li> </ul>  | Disminución de contaminación atmosférica y posiblemente uso de agua   |
| Energía:<br>Agropecuario | Combustión de gasolina, diesel, gas LP. Emisiones en la generación por el consumo de electricidad. | Principalmente CO <sub>2</sub> , en menor medida CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | <p>Promoción de eficiencia energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Información, regulación o incentivos.</li> </ul>   | <p>El ahorro de energía eléctrica no tiene beneficios ambientales locales directos</p> <p>La disminución en el consumo de combustibles disminuye contaminación atmosférica local</p>                                      |
|                          |  |   | <p>Promoción de uso de energía solar para riego agrícola.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Información, regulación o incentivos para la instalación y uso de paneles fotovoltaicos.</li> </ul> | <p>El ahorro de energía eléctrica no tiene beneficios ambientales locales directos</p> <p>Beneficios en disminución de uso de agua y conservación de suelos si va acompañado de sistemas eficientes de riego agrícola</p> |

Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático existentes.

Los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) persiguen los siguientes objetivos específicos

- Desarrollar el inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proyecciones de las emisiones en el estado.
- Identificar y desarrollar medidas de mitigación de emisiones de GEI.
- Generar y/o utilizar escenarios regionales de cambio climático para evaluar la vulnerabilidad de los sectores clave, y proponer medidas de adaptación al cambio climático.
- Integrar el análisis de los resultados como un instrumento de soporte de las políticas públicas y acciones locales, relacionadas al cambio climático a nivel estatal.
- Difundir la información acerca del tema entre la población local y actores clave en el estado.
- Promover la participación de la sociedad en la implementación de las acciones de mitigación de emisiones de GEI y de adaptación al cambio climático

A través del portal del Instituto Nacional de Ecología en <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/index.html> se puede dar seguimiento a la evolución de los diferentes programas emprendidos por diferentes estados de la República mexicana. Dicho portal contiene un mapa interactivo y un sistema de búsqueda por entidad, que en algunos casos proporciona las ligas para obtener la documentación respectiva.

A la fecha, las entidades federativas que según el portal citado han concluido estos programas son, por orden de fecha de su publicación:

- Distrito Federal. Publicó una primera edición del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) 2008-2012 en mayo de 2008, lo presentó en junio y publicó la segunda edición en septiembre de ese mismo año. Esta última edición está disponible en <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=531>. Actualmente, el PACCM se encuentra en la etapa de instrumentación de las acciones identificadas.

- Veracruz. El Programa Veracruzano de Acción ante el Cambio Climático (PVACC) fue publicado en junio de 2009 y se encuentra disponible en [http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/cvcc\\_pvacc.pdf](http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/cvcc_pvacc.pdf).
- Nuevo León. Publicó el Programa de Acción ante el Cambio Climático 2010-2015 (PACC-NL), en junio de 2010 y está disponible en [http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sdsustentable\\_cambio\\_climatico\\_base/PACCNL.pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sdsustentable_cambio_climatico_base/PACCNL.pdf)
- Guanajuato. El 23 de noviembre de 2011 se presentó el Programa Estatal de Cambio Climático de Guanajuato (PECCG). La versión digital está disponible en [http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/gto\\_peacc.pdf](http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/gto_peacc.pdf)
- Chiapas. El 18 de noviembre de 2011 se llevó a cabo la presentación del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (PACCCH) y se encuentra disponible en [http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/paccc\\_chiapas.pdf](http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/paccc_chiapas.pdf).
- Hidalgo. El 8 de diciembre de 2011 se presentó el documento "Hacia la integración del Programa Estatal de Acción para el Cambio Climático del Estado de Hidalgo" para su consulta pública. La versión para consulta pública del Programa Estatal de Acción para el Cambio Climático del Estado de Hidalgo (PEACCEH) se imprimió y publicó en diciembre de 2011 y estuvo disponible en [http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=59&Itemid=55](http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=55), hasta mediados de abril de 2012.
- Puebla. Aunque en el mapa interactivo del portal del INE, Puebla aparece con el PEACC terminado, al seleccionar esta entidad del citado mapa o del listado en esa misma página, se despliega la siguiente información “La elaboración de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático inició en 2009 y contó con recursos del Presupuesto de Egresos de la Federación del ejercicio fiscal del mismo año. En 2010 se publicó la síntesis de

dicha Estrategia”. Las ligas disponibles en el citado portal del INE bajo la leyenda “Mayor información:” ya no se encuentran en la red.

- Tabasco. Aunque en el mapa interactivo del portal del INE, Tabasco aparece con el PEACC terminado, al seleccionar esta entidad del citado mapa o del listado en esa misma página, se despliega la siguiente información “El estado de Tabasco inició el desarrollo de su Estrategia Estatal de Cambio Climático que incluye la elaboración de su Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático....En noviembre de 2011 se presentó el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco” pero no está publicado. En el citado portal del INE bajo la leyenda “Mayor información:” hay dos ligas, la primera conduce a la página de la Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental de dicho estado, en particular a una reseña del Primer Foro del Comité Interinstitucional de Cambio Climático del Estado de Tabasco celebrado en noviembre de 2009 y la segunda, a la presentación del PEACC del estado de Tabasco. Esta presentación resume los resultados de los estudios de vulnerabilidad de la línea de costa e hidrometeorológica y del Inventario de GEI, presenta tres escenarios de vulnerabilidad meteorológica y las acciones de mitigación y de adaptación propuestas.

Con la finalidad de fortalecer las capacidades locales el INE desarrolló en conjunto con la Universidad Veracruzana y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, una Guía para la elaboración de los Planes Estatales de Acción ante el Cambio Climático (INE, 2008) que publicó en noviembre de 2008 y está disponible en su portal, en la liga <http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007m.pdf>. Esta Guía señala que un PEACC debe ser producto de un proceso de planificación estratégica, por lo que dedica el capítulo 5 a describir los pasos de dicho proceso y el contenido deseable de un producto del mismo.

Por su parte, el capítulo 7 expone los lineamientos básicos para elaborar un PEACC. Del conjunto de 24 lineamientos básicos, se identificaron aquellos que mencionan los elementos técnicos constitutivos del PEACC o de los estudios básicos necesarios para su elaboración.

Estos lineamientos son los identificados en la citada Guía con los numerales viii al xxiii (INE, 2008; p. 49 y 50).

A fin de identificar oportunidades de mejora de los PEACC existentes, en el presente trabajo se diseñó el formato de comprobación que se presenta como cuadro 3. Previamente, se asignó a cada fase de un plan estratégico (primera columna del cuadro 3) los elementos técnicos correspondientes (segunda columna de dicho cuadro) obtenidos de los lineamientos viii al xxiii de la citada Guía. Esta asignación se representa en el cuadro 3 con diferentes colores (por ejemplo, la fase 2. Diagnóstico comprende cinco elementos técnicos agrupados en azul). Posteriormente, se procedió a cotejar el contenido de cada PEACC publicado, con los elementos técnicos y fases del plan estratégico, esto requirió un análisis exhaustivo de cada documento ya que la estructura y contenido de cada Programa estatal es particular.

Cuadro 3. Contenido de los PEACC terminados y publicados a abril de 2012.

| Contenido general de un plan estratégico | Contenido del PEACC a partir de los Lienamientos para la elaboración de un PEACC expuestos en la <i>Guía para la elaboración de los PEACC (INE, 2008)</i>  | DF <sup>(1)</sup> | Veracruz <sup>(1)</sup> | Nuevo León <sup>(1)</sup> | Guanajuato <sup>(1)</sup> | Chiapas          | Hidalgo <sup>(1)</sup> |
|--|--|-------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|
| 1. Introducción                          | Antecedentes, objetivos y estructura del documento.  | ✓                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | ✓                | ✓                      |
| 2. Diagnóstico                           | Descripción geográfica general del Estado con énfasis en el medio físico, social, económico y cultural.  | ✗                 | ✗                       | ✗                         | ✗                         | ✗                | ✓                      |
|  | Descripción detallada del clima estatal.   | ✓                 | ✓                       | ✗                         | ✓                         | ✓                | ✗                      |
|  | Tendencias históricas de temperatura y precipitación.  | ✓                 | ✓                       | ✗                         | ✓                         | ✓                | ✓                      |
|  | Inventario de GEI.   | ✓                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | ✓                | ✓                      |
|  | Tendencia de cada sector y su desarrollo.  | ✗                 | ✗                       | ✗                         | ✗                         | ✗                | ✗                      |
| 3. Misión, visión, objetivos, metas.     | Reducción a escala de modelos de circulación general (de la atmósfera) para 2020, 2050 y 2080.   | ✗                 | ✓                       | ✗                         | ✗                         | ✓ <sup>(4)</sup> | ✗                      |
|  | Escenarios de elevación del nivel del mar para 2020, 2050 y 2080 (Estados costeros).   | NA                | ✓                       | NA                        | NA                        | ✗                | NA                     |
|  | Escenarios de temperaturas extremas y humedad.   | ✗                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | ✗                | ✓                      |
|  | Escenarios energéticos, territoriales (cambios de usos del suelo, transporte, urbanismo), económicos (agricultura, ganadería, pesca, industria, comercio, servicios), sociales (demográficos, vivienda) hidrológicos (ríos y costas) y culturales. | ✗                 | ✗                       | ✗                         | ✓ <sup>(3)</sup>          | ✓ <sup>(5)</sup> | ✓                      |

| Contenido general de un plan estratégico | Contenido del PEACC a partir de los Lienamientos para la elaboración de un PEACC expuestos en la <i>Guía para la elaboración de los PEACC (INE, 2008)</i>   | DF <sup>(1)</sup> | Veracruz <sup>(1)</sup> | Nuevo León <sup>(1)</sup> | Guanajuato <sup>(1)</sup> | Chiapas          | Hidalgo <sup>(1)</sup> |
|--|---|-------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|
|  | Escenarios de GEL.  | x                 | ✓ <sup>(2)</sup>        | x                         | x                         | ✓ <sup>(6)</sup> | ✓                      |
| 4. Programa y estrategias                | Estrategias de mitigación y adaptación (factibilidad, alcance geográfico, costo, programa o política pública existente, instituciones participantes, oportunidades, barreras, beneficios colaterales, implicaciones de la inacción, metas, plazos). | ✓                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | ✓                | ✓                      |
|  | Recomendaciones de política pública.  | ✓                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | ✓                | ✓                      |
| 5. Seguimiento y evaluación              | Definición de indicadores de evaluación y seguimiento del PEACC.  | x                 | ✓                       | ✓                         | ✓                         | x                | x                      |

Fuente: Elaboración propia con base en la Guía para la elaboración de los PEACC (INE. 2008) y los diferentes PEACC.

Notas:

NA No aplica.

- (1) Refiere a estudios previos.
- (2) Se presenta en el capítulo 4: La vulnerabilidad.
- (3) De precipitación, disponibilidad de agua subterránea y otros, aunque refiere a un estudio previo: Diagnóstico Climatológico y Prospectiva sobre Vulnerabilidad al Cambio Climático del Estado de Guanajuato
- (4) Refiere que se utilizó el modelo Japonés TL959.
- (5) De deforestación, degradación forestal y cambio de uso del suelo.
- (6) Se presenta en el capítulo 6: Lineamientos para la mitigación de gases efecto invernadero.

A partir del cuadro 3 se analizaron los Programas estatales publicados en la página del INE. Este análisis permite destacar las diferencias de los citados programas respecto a lo establecido en la guía como contenido mínimo de un plan estratégico, así como identificar oportunidades de mejora de la guía y de los futuros programas.

Los resultados del análisis se presentan en función de las fases del plan estratégico (primera columna del cuadro 3) como sigue:

- La fase 1. Introducción está conformada en la mayoría de los Programas analizados, por los antecedentes del Programa (a nivel global, nacional y local), los objetivos del reporte y una breve descripción de su contenido. Entre los antecedentes contemplan desde los estudios internacionales que sustentan la existencia del cambio climático y sus consecuencias, hasta los informes técnicos en los que se

basa el programa respectivo y los elementos que conforman el entorno jurídico-institucional en el que se desarrolla cada programa. Por ejemplo, los antecedentes del PACCM (GDF-SMA, 2008) se encuentran en las políticas y acciones planteadas en el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 (GDF, 2007), en la Agenda Ambiental de la Ciudad de México (GDF-SMA, 2007b), en el Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012 (GDF-SMA, 2007a); y representa uno de los compromisos establecidos en el Plan Verde de la Ciudad de México (GDF-SMA, 2007c), instrumento que define las estrategias y las acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad a través del trabajo y la colaboración multisectorial. Sólo el PACCNL (Gobierno del Estado de Nuevo León-Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2010) incluyó en esta fase la definición de la estrategia, meta, visión y misión del programa, aspectos que corresponden a la fase 3.

- La mayor parte de los Programas reportan que los elementos técnicos de las fases 2. Diagnóstico y 3. Misión, visión, objetivos y metas, fueron cubiertos previamente por estudios especializados, que son correctamente referidos en los PEACC correspondientes. En particular, se tiene que:
  - El PACCM (GDF-SMA, 2008) se sustenta en el Inventario de Emisiones de la ZMVM 2004 y en la Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México.
  - El Programa Veracruzano de Acción ante el Cambio Climático (INE-Gobierno del Estado de Veracruz, 2009) incluye resultados de los estudios técnicos y de la consulta pública realizada en el primer trimestre de 2009. Los escenarios de clima y de elevación del nivel del mar son referidos y empleados en el texto pero no se presenta el detalle de los mismos.
  - El Programa de Acción ante el Cambio Climático- Nuevo León 2010-2015 publicado en el portal del INE es una síntesis para divulgación del Reporte en Extenso del Programa de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Nuevo León y presenta un resumen de los resultados del inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero y se sustenta en el Plan Estatal de

Desarrollo de Nuevo León y en el Programa Sectorial de Desarrollo Sustentable y Funcionalidad Urbana.

- Por su parte, los antecedentes del PEACC del Estado de Guanajuato se encuentran en el documento “Hacia una estrategia estatal de cambio climático en Guanajuato” publicado en noviembre de 2008 y que presenta acciones de adaptación y mitigación de emisiones de GEI basadas en el primer inventario estatal de emisiones de gases de efecto con año base 2005, elaborado por el Instituto de Ecología Estatal y publicado en el año 2009. En el año 2005 se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Estado de Guanajuato (COCLIMA). En marzo de 2010 se publicó la versión preliminar del PEACC y se realizó una consulta pública y durante el primer semestre del 2011 se concluyó el estudio “Diagnóstico climatológico y prospectiva sobre vulnerabilidad al cambio climático del estado de Guanajuato”.
- La elaboración del PACC del Estado de Chiapas incorporó a diversos actores a través del primer y segundo Foro de Cambio Climático del Estado de Chiapas celebrados en octubre de 2009 y noviembre de 2010, respectivamente. Después de la presentación del documento borrador del PACCCH el 7 de abril de 2011, el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, lo sometió a consulta pública con la finalidad de enriquecerlo mediante la retroalimentación. Se llevaron a cabo nueve talleres regionales de consulta pública en Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas, Comitán de Domínguez, Motozintla, Tapachula, Tonalá, Villacorzo, Pichucalco y Palenque en los que participaron funcionarios municipales, estatales y federales, representantes de organizaciones sociales, periodistas, miembros de comités, estudiantes e investigadores de instituciones académicas. El 6 de diciembre de 2010 el Congreso del estado aprobó la Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas. El 18 de noviembre de 2011 además de la presentación final del PACCCH también se instaló la Comisión de Coordinación Intersecretarial de Cambio Climático.

- Para el caso del Estado de Hidalgo, el documento publicado en el portal del INE consiste en la versión preliminar del PEACC-Hidalgo elaborada para la consulta pública. Dicho documento es una síntesis de los siguientes estudios previos: Diagnóstico de la variabilidad climática, Balance energético del estado de Hidalgo del período 2005 – 2010, Inventario de emisiones de GEI año 2005, Escenarios de mitigación de emisiones al 2020 y 2030, Escenarios del clima por regiones a 2030 y 2050 y Escenarios de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático.
- Los documentos del PACCM, el PVACC y el PEACCG permiten identificar la “imagen de la situación actual” de la respectiva entidad federativa (al momento de la elaboración del programa). En el resto de los Programas es difícil identificar dicha imagen ya que sus elementos están dispersos en varios capítulos. Los documentos del PACCM y el PVACC abordan dicha imagen en el capítulo asociado a la vulnerabilidad, mientras que el PEACCG lo hace más alineado con un plan estratégico, en el capítulo del Diagnóstico.
- La definición de los Objetivos de cada programa está presente con menor o mayor detalle en todos los Programas estatales analizados. Mientras que la Misión y /o visión sólo es definida por el PEACCG y por el PEACC-NL y los Alcances están presentes en el PACCM, el PEACCCH y el PEACCG. Esto dificulta la identificación de la “imagen objetivo” de cada programa.
- La fase de Programa y estrategias de un plan estratégico es cubierta con diferente detalle por los diferentes PEACC. En lo relacionado con las Estrategias de mitigación y adaptación aunque en el cuadro 3 se observa que todos los PEACC analizados definen acciones de mitigación y adaptación, no todos establecen su factibilidad, alcance geográfico, costo, metas y períodos de evaluación y seguimiento o a identificar las instituciones participantes. A continuación se presenta cada caso:
  - El PACCM presenta cada acción en una tabla que identifica las instituciones responsables, co-responsables y aliados para llevar a cabo la acción, la reducción de emisión o la amenaza asociada (en el caso de medidas de adaptación), las

- metas y los instrumentos o medios para llevarlas a cabo, así como el costo estimado y el plazo de ejecución.
- El PVCC señala para cada eje estratégico, los objetivos, periodos de consecución de metas, costos, las consecuencias de la inacción, las oportunidades que propiciaría emprender las acciones descritas y las dependencias responsables de aplicarlas, mientras que para cada acción define el grado de factibilidad de ejecución.
  - El PACC-NL presenta las acciones estratégicas de mitigación y adaptación en la forma de fichas. Para cada acción de mitigación estas fichas contienen las metas, los actores importantes, los procesos regulatorios y sociales involucrados, el costo asociado y los indicadores propuestos. En el caso de las estrategias de adaptación sólo se definen las acciones.
  - El PEACCG genera para cada línea estratégica de mitigación su objetivo, estrategias y las acciones impulsoras. Mientras que el plan de adaptación se presenta por sector vulnerable y se desglosa cada línea estratégica en función de la acción, su período de ejecución, instituciones responsables, impacto esperado e indicador.
  - El PEACC de Hidalgo establece opciones de mitigación y de adaptación para cada eje rector. Para el caso de mitigación de GEI define las acciones, los responsables, el cronograma de aplicación, la cantidad de mitigación potencial y el costo; mientras que para las opciones de adaptación sólo define los objetivos y los criterios de aplicación o requisitos generales para su ejecución, y en apartados diferentes establece los criterios para definir la inversión total requerida para llevar a cabo el programa de adaptación o cita los indicadores propuestos por CARE International para supervisar y evaluar la capacidad de adaptación de la población.
  - El PACC de Chiapas sólo define y describe las acciones de adaptación y de mitigación diseñadas para cada eje estratégico.

- La presentación del PACC del Estado de Tabasco desagrega las acciones de mitigación y adaptación por sector, las describe y las relaciona con las dependencias e instituciones responsables de su ejecución.
- Otro elemento de la fase de Programa y estrategias se refiere, según los lineamientos de la Guía para la elaboración de los PEACC, a las Recomendaciones de política pública. Este aspecto aunque está presente en los PEACC analizados no recibe un lugar destacado: la recomendación se enuncia de manera muy general, y en la mayoría de los casos, dentro de una línea de acción o estrategia que así lo requiere.
  - El PEACCEH permite ilustrar la generalidad con la que se escribe una recomendación. En el apartado denominado “Medidas de mitigación en la planificación de políticas y programas públicos” dentro del capítulo 4, expone “Las acciones mencionadas en el PEACC deben de [sic] ser consideradas en la planificación de políticas públicas y programas de desarrollo estatal y municipal”.
  - Por su parte el PEACC de Guanajuato expresa una recomendación al interior de una estrategia: “...Promover el desarrollo e implementación de una política de gestión de inversiones en giros industriales con menor demanda de agua y con menor riesgo de contaminación del ambiente.” (Secretaría de Desarrollo Sustentable-Gobierno del Estado de Guanajuato, 2010; p.56). Mientras que el PACCM identifica que debe utilizar la regulación para lograr la sustitución de microbuses por autobuses articulados o definir incentivos fiscales para cumplir sus metas de renovación de vehículos del servicio concesionado de pasajeros.
  - El PEACCCH define para cada eje estratégico que lo requiere alguna acción que involucra política pública, por ejemplo en la “Línea de Acción:A.1.4 Manejo integral de recursos hídricos” define la acción “Vincular instrumentos de ordenamiento territorial con planes de gestión de cuenca” y en parte consiste en “Modificar el reglamento interno de los consejos de cuenca para incorporar criterios de ordenamiento territorial”.
- La fase de seguimiento y evaluación no se completa en la mayoría de los PEACC

analizados. En particular, se tiene que:

- El PACCM contempla un capítulo con título “9. Diseño, implementación, seguimiento y evaluación del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México, que señala que aunque “todas las acciones incluidas en el PACCM están sujetas a diversos mecanismos institucionales de seguimiento y evaluación...., se ha previsto la integración de un Consejo o Comité de Seguimiento y Evaluación del PACCM, cuya estructura y funciones se definirán en sus reglas de operación”. Respecto al seguimiento de cada acción, aunque no define indicadores, si establece metas de mitigación o metas de proceso y plazos de ejecución.
- El PVACC contempla un capítulo con título “8. Propuestas de seguimiento y evaluación” en el que recomienda acciones para una mejor obtención de información hidrometeorológica y climática, pero no establece un sistema de seguimiento del avance o de los logros del PVACC, aunque en el subcapítulo dedicado a las medidas de mitigación y adaptación define para cada acción, como se señaló antes, los periodos de consecución de metas y recomienda usar estos períodos como “indicadores indirectos que permitan darle seguimiento y evaluación a este programa.” (Gobierno del Estado de Veracruz, 2009; p. 94).
- Por su parte, el PEACC de Nuevo León no establece un sistema de seguimiento, pero incluye un indicador para cada acción de mitigación propuesta, aunque no lo presenta para las acciones de adaptación.
- El PEACCG contiene un capítulo con título: “8. Instrumentación, Seguimiento y Evaluación del Programa”, que establece que el seguimiento del programa es responsabilidad de COCLIMA, órgano que “deberá definir en sesión plenaria la forma más conveniente de hacerlo (dar seguimiento al PEACCG)” y esboza un mecanismo de seguimiento que sugiere convertir las metas planteadas en indicadores de avance. Aunque no define de manera explícita las metas, si define plazos e indicadores para las acciones de adaptación, pero no lo hace para las acciones de mitigación.
- El PEACCEH tampoco establece un mecanismo o sistema de seguimiento y

evaluación, aunque define la mitigación potencial de cada acción, que se puede asimilar a metas y en el caso del programa de adaptación, sugiere tomar los indicadores propuestos por CARE International para la supervisión y evaluación de la capacidad de adaptación de la población.

- Por su parte, el PEACCCH no define un sistema de evaluación ni de seguimiento, tampoco identifica indicadores para las acciones que propone, sólo estableció para el “Eje estratégico transversal I. Desarrollo institucional, transversalidad y coordinación” en la “Línea de Acción: T.1.3 Colaboración entre el sector público y otros sectores de la sociedad” el diseño “de una estrategia para la implementación del PACCCCH, con metas, cronograma y presupuestos asignados y con mecanismos concretos de gestión, monitoreo y evaluación conforme a las disposiciones de la Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas.” (Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, 2011; p.82).

En líneas generales se plantean las siguientes oportunidades de mejora:

- Integrar los contenidos de cada programa con base en los esquemas generales del cuadro 3 para facilitar su diseño y su lectura. Por ejemplo, destinar un apartado de la Introducción o del Diagnóstico para exponer o referir los antecedentes globales, nacionales y locales de cada programa (los resultados de los estudios elaborados previamente y que son empleados como insumos). Esto permitirá ubicar con claridad al lector, en el marco conceptual y el entorno normativo e institucional en el que se desarrolla. El PVACC describe en diferentes capítulos, la situación o pronóstico global del cambio climático, que sólo debió exponerse como referencia al inicio del programa.
- La fase 2. Diagnóstico debe estar plasmada en los Programas estatales, para ello se sugiere incluir un capítulo que integre las conclusiones principales de los estudios tendenciales especializados (de cada sector) de tal forma que se genere una “imagen de la situación actual del Estado” en cuestión. El PVACC recoge parte de esa imagen, pero la ubica en el capítulo “4. La vulnerabilidad”.

- La fase 3. Misión, visión y objetivos del Programa estatal debe ser expresada claramente en el documento, puede ser un capítulo que inicie con la Problemática y Alcances del Programa y que integre al final, las conclusiones de los estudios prospectivos de línea base y de los escenarios de emisiones. Ese mismo capítulo debe contener la “imagen objetivo del Estado” o “imagen deseada” que estará ligada a acciones de mitigación y adaptación. Asimismo, los resultados tabulados de los estudios prospectivos deben ser parte de un anexo de los documentos de cada Programa, para su consulta.
- Se sugiere buscar la uniformidad del alcance de la fase 4. Programa y estrategias. Para ello, se incluirá un apartado que señale las barreras y oportunidades (legales, institucionales, económicas, etc.) de cada programa. Asimismo, se definirá un conjunto de variables mínimas (plazo, meta de reducción o de capacidad de adaptación, costo y responsables) y de indicadores asociados, que acompañen la descripción de cada acción, de tal forma que para cada acción, sea posible asignar valor a esas variables mínimas. Estos aspectos facilitan la formulación del sistema de seguimiento y evaluación así como la conversión de cada acción en el o los proyectos que guiarán su ejecución.
- La solidez de la fase 5. Evaluación, descansa en la acertada definición de los indicadores asociados y como sugieren algunos de los Programas analizados, estos se definen a partir de las metas establecidas, siempre que éstas hayan sido cuantificadas.

Estas oportunidades de mejora pueden ser incorporadas en la Guía para elaborar Programas Estatales de Acción ante el cambio Climático. Para ello, se sugiere incluir un capítulo que describa el contenido mínimo de un PEACC y que vincule los capítulos 5 y 7 de la misma Guía de la forma que se presentó en el cuadro 3.

## V. LOS INVENTARIOS DE GEI PARA LOS ESCENARIOS DE MITIGACIÓN DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS.

Para cuantificar las emisiones de GEI de todos los países inscritos en la CMNUCC, el PICC ha desarrollado metodologías para la elaboración de inventarios. A partir de la suma de las emisiones de todos los países, diversos científicos desarrollan modelos complejos de la química y física atmosférica que permiten estimar las concentraciones de GEI en la atmósfera y su interferencia con el clima. A partir del incremento en la temperatura se modelan escenarios de precipitación y elevación del nivel del mar. La relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a nivel mundial y los cambios en el clima se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y cambio climático

| Incremento en la temperatura (°C) | Concentración de emisiones (partes por millón ppm) Todos los GEI CO <sub>2</sub> eq. | Concentración de emisiones (partes por millón ppm) CO <sub>2</sub> | Emisiones de CO <sub>2</sub> 2050 (% reducción respecto al 2000) |
|-----------------------------------|--|--|--|
| 2.0-2.4                           | 445-490  | 350-400  | -85 a -50  |
| 2.4-2.8                           | 490-535  | 400-440  | -60 a -30  |
| 2.8-3.2                           | 535-590  | 440-485  | -30 a +5   |
| 3.2-4.0                           | 590-710  | 485-570  | +10 a +60  |
| 4.0-4.9                           | 710-885  | 570-660  | +25 a +85  |
| 4.9-6.1                           | 885-1130   | 660-790  | +90 a +140   |

Fuente: PICC (Pachauri y Reisinger, 2007)

En el reporte de 2007, el PICC establece que se requieren reducciones de entre 50% y 85% de las emisiones de GEI del año 2000, para el año 2050, si se quiere limitar la temperatura promedio de la superficie de la Tierra en el largo plazo, a un aumento de entre 2°C y 2.4°C. Inclusive, estudios recientes sugieren que el cambio climático está ocurriendo más rápido de lo que se estimaba y que estas reducciones en las emisiones no serán suficientes (UNSW, 2009; IEA, 2010).

Las categorías para las cuales el PICC tiene establecidas metodologías para la elaboración

de inventarios de emisiones de GEI son cuatro: (1) Energía; (2) Procesos industriales y uso de productos; (3) Agricultura, forestal y otros usos de suelo (o de la tierra); y (4) Residuos. Las metodologías publicadas en 2006 y guías de buenas prácticas para la elaboración de inventarios se encuentran disponibles en <http://www.PICC-nggip.iges.or.jp/>.

La metodología para la elaboración de los inventarios de emisión depende de la información disponible en el país, región o estado. En general, el PICC establece tres niveles metodológicos y el de referencia. El Nivel 1 es aquel que permite estimar inventarios de emisión a nivel sectorial con la mínima información disponible.

En general, el método para la estimación de emisiones de GEI se reduce a la siguiente ecuación:

$$E = \sum_{ij} A_{ij} * FE_{ij} * PC_j \quad 4.1$$

Donde E es la suma de las emisiones de los gases j que emiten las actividades i, en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

A<sub>i</sub> son las diversas actividades agregadas

FE es el factor de emisión del gas j para la actividad agregada i

PC<sub>j</sub> es el potencial de calentamiento del gas j (1 para CO<sub>2</sub>, 25 para CH<sub>4</sub> y 298 para N<sub>2</sub>O).

El PICC ha compilado factores de emisión por actividad agregada para los diversos sectores y categorías.

La metodología para estimar el inventario de emisiones que se presenta aquí tiene algunas diferencias con la metodología del PICC debido a que en este caso, se trata de inventarios estatales que sirven de base para construir escenarios futuros de emisiones de GEI.

Las diferencias principales están en la categoría de energía y consisten en lo siguiente:

(1) Emisiones por consumo de electricidad. El PICC recomienda que las emisiones de GEI producto del consumo de electricidad se contabilicen en la generación, sin embargo, en esta guía se propone que se contabilicen en el consumo.

En México, la ubicación, fuente de energía y tamaño de las plantas de generación eléctrica es una decisión federal y depende, formalmente, de la planificación centralizada del sector eléctrico. Como el sistema eléctrico nacional está interconectado en casi todo el territorio nacional con excepción de la península de Baja California, la energía que se genera en una planta en el Sur del país, puede ser consumida por un usuario en el Norte.

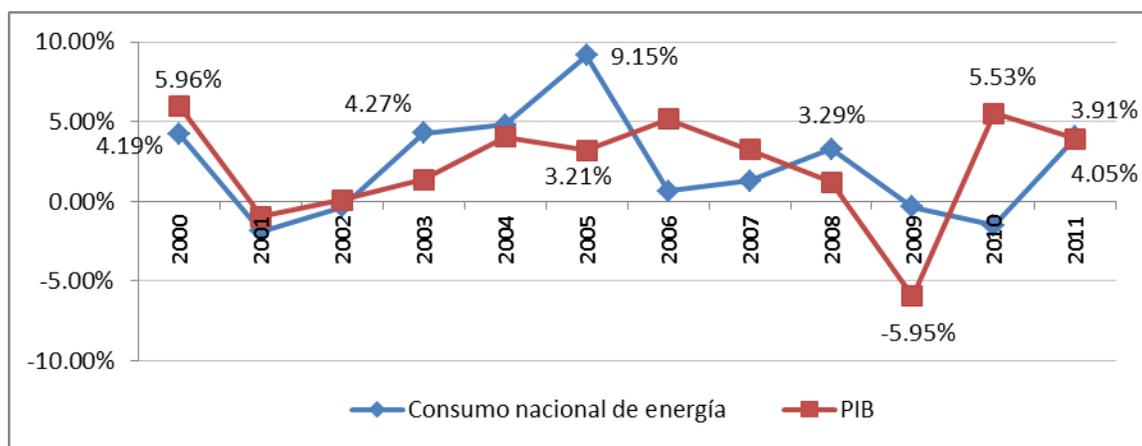
Por esta razón, es más justo para los estados, que las emisiones de GEI provenientes de la electricidad, se contabilicen a partir del consumo y no de la generación. Asimismo, al contabilizar las emisiones de la electricidad desde el consumo, los estados pueden influir en la mitigación de las emisiones a través de medidas de uso eficiente de la energía eléctrica. La metodología para su cálculo se presenta más adelante.

(2) Sectores federales. A diferencia de la metodología del PICC, en los escenarios de emisión de GEI para los estados, no deben incluirse las emisiones provenientes del consumo de energía para aviación, navegación internacional, ni emisiones fugitivas provenientes de actividades de producción, transformación y transporte de petróleo y gas natural.

## **V.1 INVENTARIO PARA LA CATEGORÍA DE ENERGÍA**

La demanda de energía en México ha estado íntimamente ligada al crecimiento económico del país. El Producto Interno Bruto (PIB) y la energía han evolucionado de una manera muy similar, esto se representa en la Gráfica 1 a través de las tasas de crecimiento del PIB y de la demanda de energía.

Gráfica 1. Tasas de crecimiento del PIB y del consumo nacional de energía (2000-2011)



Fuente: SENER. Sistema de Información energética.

Nota: La tasa de crecimiento del PIB se calculó a partir de los valores reales de cada año respecto a los precios de 2003.

La evolución del consumo de energía muestra una trayectoria ascendente que entre 2002 y 2005 crece más de lo que lo hizo el producto, a partir de 2006 sigue con un cierto rezago los cambios en la trayectoria del producto.

Este consumo es posible gracias a la producción del sistema energético, que está constituido por diversas cadenas que van desde la explotación de las fuentes primarias hasta el consumo final. Las llamadas fuentes primarias de energía son aquellas que no han sufrido un proceso de transformación y que se encuentran como tales en la naturaleza. Tal es el caso del petróleo, el gas natural, el carbón, la geotermia, el uranio, las caídas de agua, la biomasa, la energía solar, la del viento, la de las mareas, etc.

Una vez que las fuentes de energía primaria son explotadas, existen diversos mecanismos de transformación. El petróleo crudo se transporta hasta las refinerías para ser transformado en energía secundaria como la gasolina, el diesel, el combustóleo, el gas licuado de petróleo, los querosenos o la turbosina. El carbón puede ser utilizado como tal, o

transformado en coque en las plantas coquizadoras. El gas natural, en algunos casos, debe pasar por plantas endulzadoras antes de llegar al consumidor final.

Las fuentes fósiles (carbón, petróleo y gas natural) o la nuclear son fuentes no renovables de energía, porque hay reservas finitas en el planeta de estos combustibles. Las fuentes renovables de energía, como la energía hidráulica, solar, del viento, del mar; representan fuentes infinitas valoradas en términos de la vida del ser humano.

Las energías o energéticos secundarios, pueden ir directamente al consumidor final (industria, transporte, comercios, servicios y hogares) o pueden, al igual que algunas fuentes primarias, ser utilizados para producir electricidad. La electricidad tiene una característica especial comparada con las demás fuentes de energía y es que ésta no puede ser almacenada en grandes cantidades. Esto significa que la electricidad que consumimos en cada instante, debe ser generada en ese mismo momento. Además, el proceso de conversión de energía en electricidad por plantas termoeléctricas, es sumamente ineficiente. Dependiendo de la tecnología, por cada unidad de energía que entra a una planta de generación de electricidad, se pierde, en forma de calor entre 50% y 75% de esa unidad. A esto hay que sumarle las pérdidas generadas en los procesos de transmisión y distribución de la electricidad (necesarios para llevar la energía eléctrica, desde las plantas de generación hasta el consumidor final) que en México van del 10% al 12% de la unidad generada.

Las fuentes energéticas primarias que sustentan el desarrollo de la humanidad son las fuentes fósiles: el carbón, el petróleo y el gas natural. En la actualidad, la humanidad utiliza en un día, la misma cantidad de fuentes energéticas fósiles que le tomó a la naturaleza millones de años producir. Por si fuera poco, el consumo mundial de este tipo de energía se incrementó en este siglo, en cerca de 1500 veces.

Las emisiones de gases de efecto invernadero provienen precisamente de las fuentes fósiles. Estos recursos energéticos provienen de materia orgánica almacenada por millones de años y por lo tanto, su principal elemento constitutivo es el carbono. Cuando un combustible fósil se quema, el carbono contenido interactúa con el oxígeno de la atmósfera

y se forma CO<sub>2</sub>, que a su vez es emitido a la atmósfera. Por esta razón, las emisiones provocadas por la quema de combustibles fósiles dependen del contenido de carbono en el combustible y no de la tecnología de combustión. A diferencia del CO<sub>2</sub>, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O dependen del combustible y de la tecnología de combustión.

En cualquiera de los casos, en general, las emisiones de GEI se calculan como el producto del consumo de un combustible (en unidades energéticas) por su factor de emisión (en gramos por unidad energética).

Los factores de emisión para cada caso vienen publicados en las guías metodológicas del PICC. Es decir, la actividad agregada en la categoría de energía se considera como el consumo de energía por sector, combustible y electricidad.

Por otro lado, además de las emisiones por combustión, el sector energético también presenta emisiones fugitivas. Estas últimas provienen de la extracción y uso de los combustible fósiles y se refiere a la liberación de combustibles gaseosos y componentes volátiles que no se queman.

#### **INVENTARIO DE EMISIONES PARA CONSUMO DE ELECTRICIDAD**

México es un país cuya matriz energética está conformada principalmente por los hidrocarburos. En 1994, los productos petrolíferos representaron el 62.7% del consumo final de combustibles fósiles y el 55.9% del consumo total de energía.

En el periodo 1990-2011, el consumo nacional de combustibles fósiles creció un 73.4%, ya que pasó de 4,424.0 a 7,621.2 PJ (SENER-SIE). Sin embargo, la fuente de energía final de mayor crecimiento es la electricidad, en el período comprendido entre los años 1995 a 2011 creció en 78.7% su consumo, al pasar de 113,156.67 GWh en 1995 a 202,226.00 GWh en 2011.

El sistema eléctrico nacional está interconectado en todo el territorio, con excepción de la península de Baja California. Esto significa que la electricidad que se genera en las

diferentes plantas en el país, se transmite a través de una red compleja a todo el territorio. Por esta razón se desconoce exactamente de qué planta proviene la electricidad que se consume en Morelos o en el Distrito Federal en un momento dado. Para efectos de las estimaciones de los consumos de electricidad estatales que se presentan en este trabajo, se supone que cada kWh que se consume, es generado por un promedio de todas las plantas existentes. Esto facilita el trabajo pero acarrea un grado de error, ya que dependiendo de la hora del día, se utilizan diferentes plantas, es decir un despacho de carga distinto.

Con base en ello, puede calcularse un factor de emisión eléctrico, que no es más que el consumo total de combustible para generar electricidad entre la generación bruta de energía eléctrica de todas las plantas de generación, menos las pérdidas por transmisión (CONUEE, 2009).

La siguiente ecuación lo refleja

|   |     |
|---|-----|
| $\text{FE electricidad } i t = \frac{\sum C_{j,t} \text{FE}_{ij}}{\text{GE}_t (1-\text{FP}_t)}$ | 4.2 |
|---|-----|

Donde:

$C_j$  es el consumo del combustible  $j$  en el año  $t$

$\text{FE}_{ij}$  es el factor de emisión del gas  $i$  del combustible  $j$

$\text{GE}$  es la generación bruta en el año  $t$

$\text{FP}$  es el factor de pérdidas (en porcentaje) de transmisión del año  $t$

En el Anexo 2 se muestra el cálculo para los años 2005 a 2009 a nivel nacional. Para la península de Baja California no debe utilizarse este factor, debe calcularse uno específico que incluya las plantas de generación de ese sub-sistema eléctrico nacional.

## V.2 OBJETIVOS DE MITIGACIÓN DE GEI

La mitigación de GEI, es sólo una parte de la política ambiental y de desarrollo sustentable de un país o una región. Además de los beneficios en la reducción en la tasa de calentamiento del planeta y sus repercusiones, la mitigación de GEI puede tener otros beneficios económicos, sociales y ambientales.

La reducción de emisiones de GEI se logra a partir de la aplicación de diversas medidas de mitigación. Las principales medidas de mitigación de GEI aplicables a la categoría de energía se refieren a:

- Sustitución de combustibles de mayor contenido de carbono, por combustibles de menor contenido de carbono (tal es el caso de sustitución de carbón o combustóleo por gas natural);
- Reducción de la quema de combustibles fósiles a través de tecnologías más eficientes;
- Reducción de la quema de combustibles fósiles a través de su sustitución por fuentes renovables de energía incluyendo la biomasa;
- Reducción de la quema de combustibles fósiles a través del uso de la energía nuclear;
- Captura y almacenamiento de carbono;
- Disminución de fugas de gas natural.

La eficiencia energética o la ampliación en el uso de las fuentes renovables de energía como el sol, o el viento, por ejemplo, además de reducir GEI, tienen otros beneficios ambientales como la disminución de contaminantes atmosféricos locales, o del consumo de agua y pueden representar beneficios económicos y sociales si se atienden las necesidades nacionales y de las comunidades locales.

Sin embargo, la sustitución de un combustible como la gasolina por el gas natural, no necesariamente representa disminución de todos los contaminantes atmosféricos. Esto dependerá de las tecnologías de combustión en las que se aplique.

En el caso de la energía nuclear, aun no se han resuelto problemas que generan afectaciones ambientales de largo plazo, como lo es el manejo y la disposición final de los desechos radioactivos o los riesgos asociados a accidentes.

Por su parte, la captura y secuestro de carbono es un tema en pleno desarrollo en el que se cuestiona la sustentabilidad de algunas soluciones tecnológicas.

De la misma forma, en el tema del uso de la biomasa, particularmente de los agrocombustibles, deben reconocerse los cuestionamientos relativos a la competencia de la tierra y el agua con los productos alimenticios o las afectaciones ambientales de los transgénicos, reconociendo la importancia de los llamados biocombustibles de segunda generación.

También es importante aclarar que no todas las medidas de control de la contaminación, particularmente la atmosférica, repercuten en la disminución de emisiones de GEI. Los GEI son diferentes a los contaminantes que causan daños directos a la salud (denominados locales o criterio).

Como se presentó en el capítulo II, los GEI son el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub>, el N<sub>2</sub>O y los FC. Estos gases no están catalogados dentro de aquellos cuya emisión causa daños directos a la salud, sino como gases de efecto invernadero, cuyo aumento en la atmósfera ocasiona aumento en la temperatura de la superficie del planeta. Los llamados contaminantes locales o criterio son principalmente, el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el plomo (Pb), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVNM), las partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) y las menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>). Algunos de estos gases pueden llegar a formar GEI en su interacción en la atmósfera.

Cada escenario y esquema de mitigación debe considerar las implicaciones ambientales en otros ámbitos y por supuesto las implicaciones sociales y económicas.

## **VI. METODOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DE MITIGACIÓN.**

La técnica de escenarios es un instrumento de la prospectiva que permite reducir el grado de incertidumbre en la toma de decisiones. La incertidumbre es inherente al futuro de cualquier sistema socioeconómico. Por tanto, el escenario deberá constituir una imagen coherente del estado de un determinado sistema en ciertos puntos del futuro. La coherencia se refiere a la compatibilidad interna que deben guardar entre sí los diferentes elementos o hipótesis que definen o conforman un escenario, atendiendo a un marco teórico – conceptual de referencia.

Por su parte, la reducción del grado de incertidumbre para la toma de decisiones exige diseñar varios escenarios contrastantes con la finalidad de abarcar en la medida de lo posible, la trayectoria real futura del sistema considerado.

Así, los escenarios constituyen una herramienta estructurada de la planificación de largo plazo, que permite organizar la información e identificar la multiplicidad de posibilidades de ocurrencia de hechos futuros, con base en el conocimiento y la información disponible. Esta herramienta se utiliza para estimar las emisiones de GEI y los riesgos fundamentales del cambio climático, evaluar las interacciones críticas con otros aspectos de los sistemas humanos y ambientales y guiar las respuestas de política.

Según el PICC, los escenarios son descripciones coherentes y consistentes de cómo el sistema climático de la Tierra puede cambiar en el futuro.

Cada escenario describe un futuro determinado, con sus características económicas, sociales y ambientales particulares, y por lo tanto contiene información implícita o explícita acerca del desarrollo, la equidad y la sostenibilidad.

La construcción de un escenario requiere la definición del momento del que se parte para hacer la prospectiva, ese momento es el año base.

### Año base

En la literatura económica un año base es el año que sirve de referencia para construir cualquier índice u otra serie de tiempo.

En términos de escenarios, la línea base o de referencia comprende la situación del sistema sin cambios ni en la estructura ni en su funcionamiento. Mientras que un escenario alternativo es aquél que contempla acciones que implican una ruptura con el pasado.

La construcción de uno o varios escenarios de emisiones y de mitigación bajo cualquier metodología, se realiza a partir de las emisiones o el inventario de emisiones de un año base.

Dado que las emisiones están íntimamente relacionadas con la dinámica poblacional y económica de un país, región, estado o municipio, el año base debe escogerse como un año típico en términos del crecimiento económico o poblacional. De esta forma, no se recomienda elegir a 1995, 2000 o 2009 como año base en México, debido a que fueron años de cero crecimiento o de disminución de la tasa de crecimiento económico, lo cual implicó reducción de la producción industrial, o agropecuaria y reducción del consumo de energía, cuya proyección subestimaría las emisiones futuras.

Otro criterio para determinar el año a utilizar como base es la disponibilidad de información para la elaboración del inventario. El Instituto Nacional de Ecología, recomienda utilizar los años 2005 o 2006 como año base para los escenarios estatales de emisiones de GEI.

### Escenario o escenarios base

El escenario base considera las emisiones futuras en función de las tendencias históricas e incorpora las acciones de mitigación que ya han sido concertadas previo al año base, así como supuestos acerca del comportamiento futuro de las variables exógenas al modelo.

Las variables exógenas son Producto Interno Bruto (PIB), estructura del PIB, población y hogares de la entidad, región o estado y su comportamiento futuro se basará en la tendencia histórica y en alteraciones externas a dicha tendencia. De tal forma, que puede diseñarse un escenario base para cada supuesto de comportamiento futuro de estas variables.

El escenario base será la proyección a partir de la cual podrán determinarse escenarios de reducción o mitigación de emisiones.

### Escenarios de mitigación

Los 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 reducción de emisiones de los escenarios de mitigación se cuantifica en función de la variación respecto al escenario tendencial o base.

### Escenarios económicos y de población

Los escenarios socioeconómicos proporcionan un marco con datos de referencia para la planificación estructurada de cómo se puede revelar el futuro en términos económicos y de población. Su construcción requiere la modelación de principios generales aplicables a situaciones reales complejas y esa modelación exige simplicidad, es decir, incluir sólo las variables relevantes que explican el problema o el sistema.

Los modelos de sistemas sociales poseen un mayor grado de complejidad que aquellos de las leyes físicas ya que de manera simple deben representar a las organizaciones (entendidas como conjunto de individuos que comparten objetivos), sus comportamientos y sus relaciones.

## **VI.1 ENFOQUES DE MODELACIÓN DE ESCENARIOS**

La teoría económica dispone de distintas formas de analizar y modelar las relaciones entre consumos de energía y variables económicas como la producción y los precios.

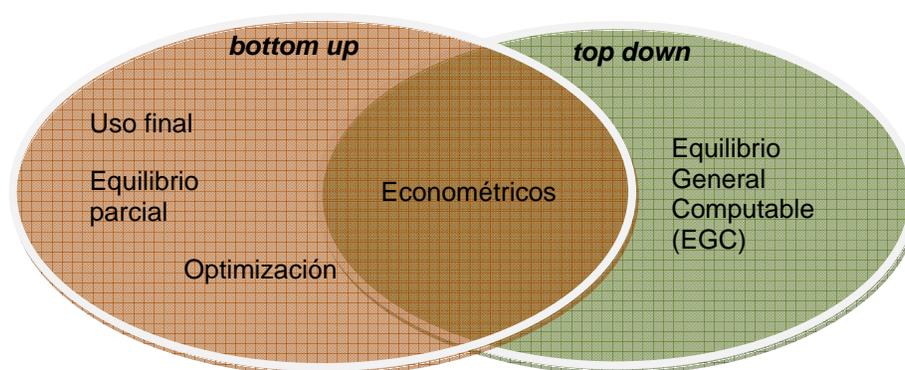
Por un lado existe el enfoque más asociado a los modelos microeconómicos conocido como “bottom up”, que disponen de una fuerte base de ingeniería y en donde en muchos casos se

especifican los requerimientos energéticos de equipos y maquinarias para determinar el consumo energético.

Por otro lado, existen los modelos económicos de corte más macroeconómico, que se conocen como “top-down”. En este último caso destacan los modelos de equilibrio general computable muy consistente con la teoría económica.

También se cuenta con modelos de tipo econométricos que permiten incorporar de manera sistemática la información histórica disponible.

Figura 4. Categorías de modelos.



Adaptado de: Bazán, G. y Ortíz, G. (2010).

#### Modelos de usos finales (o bottom-up)

Los modelos de usos finales (o bottom-up) estiman la demanda de energía a partir del consumo en cada sector y suponiendo tasas de crecimiento por sector, cambio tecnológico y comportamiento de los individuos. Estos consumos de energía sectoriales se agregan para obtener la demanda agregada por energía de la economía, tanto por electricidad como por tipo de combustible.

La demanda por electricidad a su vez se traduce en los requerimientos de combustibles para producirla. Se obtiene así un vector que representa la demanda total de combustible, para la producción de energía tanto primaria como secundaria. Los sectores que en general incluyen el módulo de demanda de energía son: agropecuario, residencial, industrial, transporte y servicios.

Por su parte, la oferta de energía de la economía se calcula a partir de la información proporcionada por las plantas productoras de energía (refinerías, plantas de gas y plantas generadoras de electricidad).

La diferencia entre la demanda de energía y la oferta existente se resuelve añadiendo la capacidad de producción.

A continuación se presentan las principales características que distinguen los enfoques de modelación descritos.

Cuadro 4. Comparación entre los modelos “*bottom up*” y “*top down*”.

| Característica           | <i>bottom up</i>  | <i>top down</i>  |
|--------------------------|---|--|
| Requerimientos de datos  | Datos desagregados de combustibles                                      | Datos económicos agregados   |
| Supuestos                | Excede las barreras de mercado  | Eficiencia de mercados   |
| Objeto de análisis       | Costos y beneficios de tecnologías y programas específicos              | Impactos en variables macroeconómicas: producción, ingreso, inflación. |
| Relaciones que establece | Entre proyectos y programas específicos.                                | Intersectoriales   |
| Uso                      | Evaluar la factibilidad económica de programas y proyectos específicos. | Evaluar el impacto de cambios en política pública.                     |

Adaptado de: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2005.

Para la construcción de escenarios de emisión del sector energía, cada vez se utilizan más los llamados modelos de abajo hacia arriba (*bottom-up*). Estos modelos parten de la tesis de que el consumo de energía no es un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar mejores condiciones de vida y cubrir las necesidades de la población. Bajo esta premisa, que se diferencia de modelos que parten del consumo agregado de energía para proyectar el crecimiento futuro, los modelos de abajo hacia arriba parten de los sectores de consumo y en la medida que la información lo permite, de los usos finales de la energía (Goldemberg et al, 1987; Reddy, 1995)

Estos modelos tienen la ventaja de estimar los impactos en el consumo de energía y las emisiones de GEI, producidos por la sustitución tecnológica o el cambio en el uso de

combustibles. Por esta razón, se apegan más al objetivo de los modelos de mitigación de gases de efecto invernadero, que precisamente buscan calcular las implicaciones de diversas medidas de reducción de emisiones, en las emisiones totales.

Existen diferentes modelos que han sido desarrollados como software y están disponibles para su adquisición. Por ejemplo el modelo Markal, que fue desarrollado a través de un proyecto multinacional de varias décadas del Programa de Análisis de Energía y Tecnología de la Agencia Internacional de Energía (Energy Technology Systems Analysis Programme-ETSAP). Otro modelo de este tipo es el llamado LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) desarrollado por el Stockholm Environment Institute. En México, también se desarrolló el Modelo de Energía y Emisiones para México –MEEM- (Sheinbaum y Masera, 2000).

### ***Long-range energy alternatives planning system (LEAP)***

El Long-range energy alternatives planning system (LEAP) o Sistema de planificación de largo plazo de energías alternativas es una plataforma computacional diseñada para llevar a cabo una planificación que integra variables energéticas y ambientales, aunque también se puede usar para representar una cadena energética específica.

LEAP es del tipo “*bottom up*” y se basa en escenarios del tipo “*demand-driven*” (desde la demanda), es decir que frente a un determinado escenario de demanda final de energía, LEAP asignará los flujos energéticos para las distintas tecnologías de abastecimiento energético, y permitirá calcular el uso de recursos, los impactos ambientales y la necesidad de ampliación de determinados procesos de producción de energía.

Es un modelo que permite evaluar el efecto de diferentes políticas energéticas en el consumo de energía y en sus consecuentes emisiones. Dentro de este esquema se calcula la energía consumida por la demanda, a partir de la energía gastada por los diferentes sectores finales. (Manzini et al, 1999).

Los sectores finales son residencial, agrícola, industrial, transporte y energía consumida por el propio sector energético. La fase de transporte incluye generación y distribución de

electricidad, las refinerías, las plantas de gas, la producción de gas natural, y la producción de petróleo y coque. Una vez que se calcula la energía de la demanda, las fuentes primarias y las transformaciones deben ser compatibles con ésta.

Ha sido empleado para determinar la evolución del sistema energético tanto en países industrializados como en países en desarrollo, para regiones o para planificación local.

LEAP constituye una herramienta para realizar proyecciones de largo plazo en términos de configuraciones de oferta/demanda o de un esquema para identificar y evaluar opciones de política y tecnologías alternativas.

La modelación con LEAP requiere la siguiente información:

- Balance energético del año base
- Precios de los distintos productos energéticos
- Parámetros tecnológicos de abastecimiento energético.
- Costos por cada tecnología.
- Proyecciones internacionales de precios de energía
- Coeficientes ambientales locales (opcional)
- Intensidades energéticas para procesos de uso final
- Información sobre usos de biomasa.

### ***MARKet Allocation- (MARKAL)***

Es un modelo de asignación de mercado desarrollado para la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) mediante un proyecto multinacional de cooperación del Programa de Análisis de Sistemas de la Energía y la Tecnología (Energy Technology Systems Analysis Programme-ETSAP) de la AIE, que cumple con los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Dicho modelo representa la evolución de un sistema específico de energía a lo largo de un período que suele ser de 40 a 50 años, a nivel nacional, regional o local.

El modelo requiere como insumo las proyecciones de demanda de energía por tipo de recursos o de tecnologías existentes y futuras para el control de emisiones. Cada una está representada cuantitativamente mediante un conjunto de características de rendimiento y costo.

MARKAL integra la oferta y la demanda de tal forma que una responde automáticamente a los cambios en la otra y selecciona la combinación de tecnologías que minimiza el costo total del sistema. El sistema establece que un número de tecnologías de uso final compete para satisfacer una demanda particular y un número de tecnologías de producción compete para producir la misma forma de energía, para satisfacer un determinado objetivo y bajo las restricciones establecidas.

A diferencia de algunos modelos técnico-económicos del tipo "*bottom up*", no requiere como insumo una clasificación de las medidas de mitigación de GEI, sino que ofrece como resultado la selección de las tecnologías con base en el grado deseado de mitigación futura.

Se define un caso de referencia en el que por ejemplo, no se adoptan medidas de mitigación de CO<sub>2</sub>. Las simulaciones siguientes se hacen con escenarios de reducción de las emisiones. En cada caso, el modelo encuentra la combinación de menor costo de las tecnologías de emisión que cumplan con cada restricción, dentro de los límites de viabilidad. Así, el costo total proyectado de las reducciones de emisiones se calcula en función de las restricciones y se puede representar como curvas continuas de reducción de costos. También se calcula el costo marginal de mitigación de emisiones para cada período de tiempo, resultado que puede interpretarse como la cantidad de impuesto a la emisión de carbono que se necesitaría fijar para alcanzar su correspondiente nivel de mitigación.

El modelo MARKAL es un modelo estrictamente del sector energético y no establece relaciones con otros sectores de la economía. La demanda es exógena, no responde a precios y no determina variables económicas endógenas que puedan realimentar el modelo. Aunque el modelo MARKAL-MACRO resuelve estos últimos inconvenientes, incorpora un modelo macroeconómico neoclásico y adopta una función de producción de elasticidad de sustitución constante (CES). El modelo resuelve para un consumidor representativo óptimo, donde todas las variables relevantes son agregadas.

---

***Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact-  
MESSAGE.***

El Modelo de alternativas estratégicas de oferta energética y su impacto ambiental general (MESSAGE, por sus siglas en inglés) es un modelo de optimización usado para la planificación del abastecimiento energético a mediano y largo plazo, que considera las repercusiones ambientales de las tecnologías utilizadas para satisfacer esta demanda. Al igual que MARKAL, este modelo proporciona un marco para representar un sistema energético con todas sus interdependencias, desde la extracción del recurso, importaciones y exportaciones, transformación, transporte, y distribución hasta la provisión de energía para uso final: iluminación, acondicionamiento de espacios, producción industrial y transporte, es decir, toda la cadena de abastecimiento.

El modelo formula y evalúa distintas estrategias de suministro de energía y planes de expansión del sistema, determinando cuánto de cada una de las tecnologías disponibles y recursos deben usarse para satisfacer una demanda particular, minimizando el costo total actualizado. Esto se realiza sujeto a ciertas restricciones, por ejemplo, límites de inversión, tasas de penetración de nuevas tecnologías, disponibilidad de combustibles, emisiones, etc.

Los escenarios se diseñan por minimización de los costos totales del sistema y bajo las restricciones impuestas por el sistema energético.

A partir de esta información y de otra variable del escenario, por ejemplo, la demanda de energía, el modelo reproduce la evolución del sistema energético para el año base y para el final del horizonte de evaluación y proporciona la capacidad instalada de las tecnologías, de los insumos y los productos energéticos, los requerimientos de energía para varias fases, costos y emisiones del sistema.

El grado de detalle tecnológico con el que representa un sistema energético es flexible y depende del alcance geográfico y temporal del problema que se analiza.

La aplicación típica de MESSAGE especifica las características de desempeño de un conjunto de tecnologías y define un Sistema Energético de Referencia (RES) que incluye todas las posibles cadenas del sistema que el modelo soporta. De esta forma, mientras

minimiza el costo total descontado del sistema, sujeto a varias restricciones, determina la cantidad de tecnologías y recursos disponibles que realmente son usados para satisfacer la demanda final.

La versión actual del modelo, MESSAGE IV, es un sistema construido sobre la plataforma *UNIX*, que proporciona información sobre la utilización de recursos domésticos, la importación y exportación de energía, los flujos monetarios relacionados, requerimientos de inversión, tipos de producción o de conversión de tecnologías (sustitución), emisiones, procesos de sustitución de combustibles fósiles, así como las trayectorias temporales de las fuentes primarias, secundaria, y de uso final.

Otro avance del modelo abarca los seis GEIs de Kioto y sus tecnologías de mitigación.

### **Modelo de Energía y de Emisiones para México (MEEEM)**

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).

Se define 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 (ver Figura 5).

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 se denomina las emisiones o el inventario de emisiones para el año base. 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  $t$ ,  $S_{ijkt}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) y  $k$  ( $k=1,2,\dots,m$ ) 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:

$$E_{it} = A_{it} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m S_{ijkt} I_{jkt} \quad 6.1$$

Por su parte, la demanda total de energía en el año  $t$  ( $ET_t$ ), es la suma de la demanda energética de los diferentes sectores  $i$  ( $i=1,2,\dots,s$ )

$$ET_t = \sum_{i=1}^s E_{it} \quad 6.2$$

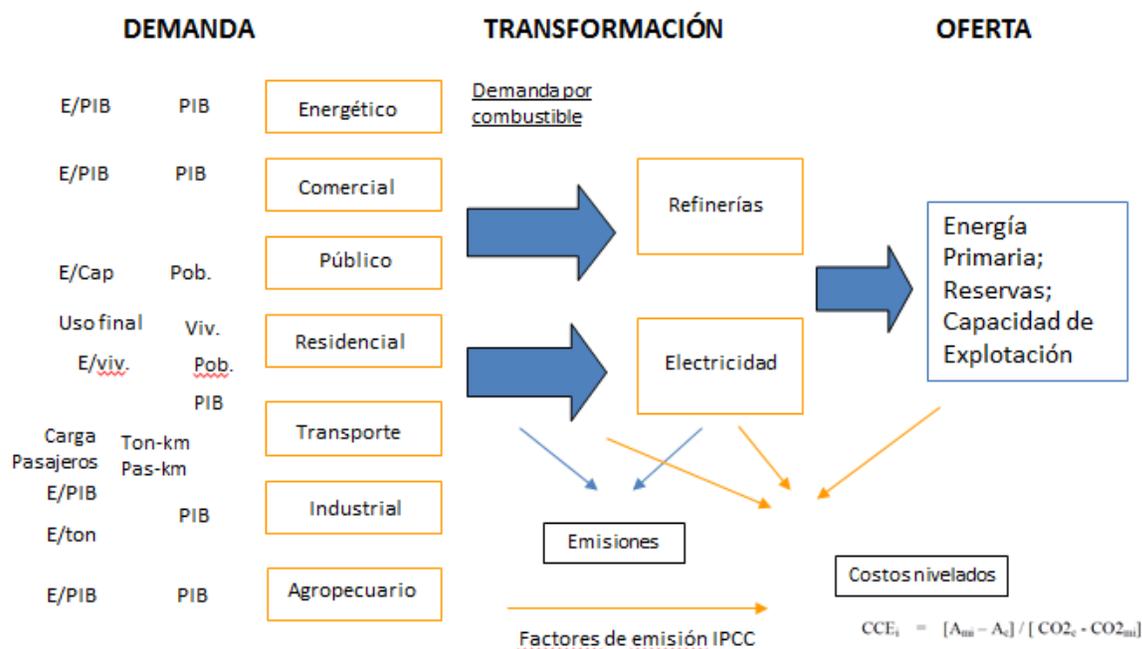
Las emisiones de GEI son estimadas con la metodología del IPCC de 2006 en su Nivel o Tier 1 (IPCC, 2006). Las emisiones por electricidad se contabilizan en la generación o en el consumo. La información sobre actividad, intensidades energéticas proviene de diversas fuentes (INEGI, CFE, SENER)

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.

$$CCE_i = [A_{mi} - A_c] / [CO_{2c} - CO_{2mi}] \quad 6.3$$

Donde  $[A_{mi} - A_{cl}]$  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  $[CO_{2c} - CO_{2m}]$  es la diferencia entre las emisiones anuales de la tecnología convencional y la de mitigación.

Figura 7. Modelo de Energía y de Emisiones para México.



Fuente: Sheinbaum C.y Masera O., 2000.

## VI.2 CONSIDERACIONES GENERALES DEL PICC

Para elaborar los Inventarios de GEI, el PICC ha venido actualizando y mejorando las metodologías. La última publicada es la del 2006 (PICC, 2006a). En éstas, se presentan tres Niveles para estimar las emisiones procedentes de la quema del combustible fósil por sector de acuerdo con la disponibilidad de información. Asimismo, se incluye un Método de referencia. Se lo puede utilizar como control independiente del método por sectores y para obtener una estimación de primer orden de las emisiones nacionales o estatales de los gases

de efecto invernadero. En el Anexo 1 se muestran las actividades energéticas agregadas consideradas en los inventarios de emisiones nacionales y estatales.

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) trabaja con cuatro familias de escenarios elaboradas por seis grupos de investigación. Dos de los modelos empleados son el IMAGE del Ministerio de Medioambiente holandés y el MESSAGE del International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) austríaco. En conjunto, el IPCC maneja 40 escenarios base y ha realizado más de 180 modelos y proyecciones. Todos los escenarios y modelos del IPCC así como los modelos de la IEA, la Energy Information Administration (EIA) de Estados Unidos y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) siguen el siguiente esquema de trabajo para sus modelos:

- Se elaboran escenarios y modelos de crecimiento económicos. Por ejemplo, el IPCC parte de escenarios económicos, en sus 40 escenarios base, en los que el PIB mundial de 1990 se multiplica por 3 y hasta por 9 en el año 2050.
- Los recursos no renovables son ilimitados, aunque los modelos recientes de la IEA y de la EIA si incluyen las tendencias geológicas y tecnologías extractivas en sus modelos.
- La mayoría de los modelos usan también supuestos para la evolución de la intensidad energética o los vinculan a los supuestos de crecimiento económico.
- Se modelan, generalmente, los precios de los distintos recursos energéticos.
- A partir de todo lo anterior se construyen escenarios de demanda energética.

## VII. ESTRATEGIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS ESTATALES EN LA CATEGORÍA DE ENERGÍA

Para la construcción de escenarios de emisión del sector energía, cada vez se utilizan más los llamados modelos *de abajo hacia arriba*. Estos modelos parten de la tesis de que el consumo de energía no es un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar mejores condiciones de vida y cubrir las necesidades de la población. Bajo este marco, a diferencia de modelos que parten del consumo agregado de energía para proyectar el crecimiento futuro, los modelos *de abajo hacia arriba* parten de los sectores de consumo y en la medida que la información lo permite, de los usos finales de la energía (Goldemberg et al, 1997; Reddy, 1995)

Estos modelos tienen también la ventaja de estimar los impactos en el consumo de energía y las emisiones de GEI, producidos por la sustitución tecnológica o el cambio en el uso de combustibles. Por esta razón, se apegan más al objetivo de los modelos de mitigación de gases de efecto invernadero, que precisamente buscan calcular las implicaciones de diversas medidas de reducción de emisiones, en las emisiones totales.

Los diferentes modelos estudiados en el capítulo anterior, están disponibles como software. Tal es el caso del modelo Markal, o el LEAP. Asimismo, en México también se desarrolló un sistema que emplea el Modelo de Energía y Emisiones para México (Sheinbaum y Masera, 2000).

El desarrollo de un modelo estatal para estimar los escenarios de emisión y de mitigación de GEI del tipo *de abajo hacia arriba* facilitaría su adecuación a la disponibilidad de información estatal y es tan sencillo que puede diseñarse en un programa de hojas de cálculo.

Los párrafos que siguen delinean la estrategia para la identificación de las fuentes de información pertinentes y la selección de las variables adecuadas, para el uso del MEEM para la elaboración de escenarios de emisiones y de mitigación estatal en la categoría de energía, que es el objeto de este trabajo.

## Consumo de energía estatal

El primer paso en la construcción de escenarios para la categoría de energía es recabar la información del consumo de energía por tipo de combustibles para cada estado. En el portal del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2011) dentro de la categoría de información estadística en la carpeta de hidrocarburos, se encuentra información referente al volumen de ventas de gas licuado y petrolíferos, por entidad federativa con excepción de Quintana Roo y Tlaxcala (<http://sie.energia.gob.mx>).

En la prospectiva del Mercado del Gas Natural, publicada por la Secretaría de Energía (SENER) se presenta información estadística del consumo de este energético en los estados. Dicha prospectiva está publicada en el portal de la SENER para los períodos 2007-2016 y 2010-2025.

El consumo de electricidad por estado y por sector (doméstico, comercial, servicios, agrícola, mediana y gran industria) es publicado en el portal de CFE y actualizado cada año (se sugiere consultar la información de tipo histórico en <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Default.aspx> o seguir la ruta de las pestañas: )

### Sectores de uso final

Para construir un modelo estatal de escenarios de emisiones de GEI, se parte del consumo de energía para el año base de los sectores de uso final. Los sectores de uso final de la energía, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía (BNE) son: residencial, comercial, agropecuario, público, industrial y transporte. Desafortunadamente, con excepción de la electricidad, no siempre puede encontrarse la información desagregada del balance de energía estatal, lo que implicaría conocer al menos para el año base, el consumo de energía por sectores y por combustibles.

Es sumamente importante que coincida el consumo agregado de energía real con el que se estima por medio del modelo que se presenta a continuación. Para estimar o aproximar este consumo, pueden utilizarse indicadores de intensidad energética nacionales. A continuación se abunda en este tema.

### Combustibles y electricidad

Para cada sector de uso final se utilizan diferentes energéticos, incluyendo combustibles fósiles, fuentes renovables de energía, y electricidad. Los principales combustibles fósiles son el gas natural, el carbón y el coque de carbón, los derivados del petróleo: coque de petróleo, combustóleo, diesel, gasolina, kerosenos (incluye combustible para avión) y gas licuado de petróleo (GLP).

Como se presentó previamente, las emisiones de GEI están asociadas a la quema de los combustibles fósiles. Por ejemplo, cuando se usa un combustible en una estufa casera o en una caldera industrial, en ese momento y en ese lugar se están produciendo las emisiones. Sin embargo, cuando se utiliza electricidad, por ejemplo, al encender un apagador que da luz en un hogar, la emisión de gases ocurre en las plantas de generación eléctrica que pueden estar situadas a largas distancias de donde se consume dicha electricidad.

Lo anterior tiene que ver con la característica de este tipo de energía secundaria, que se produce en grandes plantas de generación y después se transmite y distribuye a centros alejados de consumo. Inclusive, como sucede en México, la electricidad que se consume en una entidad de la República produce emisiones en las entidades en las que se ubican las plantas que la generan.

Para los escenarios estatales de emisión de GEI, las emisiones de la producción de electricidad se contabilizan a partir del consumo como se explicó en el apartado de inventarios. En el Anexo 2 de esta tesis se presentan los factores de emisión eléctricos para años futuros, de acuerdo con lo contemplado en el Programa de Obras del sector Eléctrico de CFE (2010).

### Indicadores de actividad, estructura e intensidad

Para cada uno de los sectores de uso final de la energía, puede definirse un indicador de actividad, de estructura y de intensidad energética o sólo de actividad e intensidad energética. Los cambios en estas variables permitirán elaborar los escenarios de emisión.

La Tabla 6 muestra la actividad, estructura e intensidad energética para cada sector de consumo final de la energía que se utiliza en el caso nacional.

Cuando la información de la intensidad energética no está disponible para los estados y el D.F., se sugiere utilizar el indicador a nivel nacional, como una estimación gruesa del consumo por sector y combustible. El grupo de energía y ambiente del Instituto de Ingeniería de la UNAM ha venido trabajando estos indicadores a nivel nacional (anexo 3).

Tabla 6. Indicadores de actividad, estructura e intensidad energética para los sectores de uso final

| Sector                       | Actividad   | Estructura  | Intensidad energética o consumo unitario de energía |
|------------------------------|---|---|---|
| Residencial                  | Hogares   | % de hogares con determinado equipamiento (estufa de gas, refrigerador, lavadora, etc.) | Energía/hogar/año                                   |
| Comercial                    | PIB comercial   |   | E/PIB/año   |
| Agropecuario (a)             | PIB agropecuario  |   | E/PIB/año   |
| Agropecuario (b)             | Hectáreas   |   | E/ha  |
| Servicios (a)                | Población   |   | E/cap/año   |
| Servicios (b)                | Área urbana   | Iluminación pública<br>Bombeo de agua   | E/área urbana                                       |
| Industrial (a)               | PIB industrial  |   | E/PIBi/año  |
| Industrial (b)               | PIB industrial  | % de participación de cada rama industrial en el PIB si existe la información           | E/PIB/año<br>(para cada industria)                  |
| Transporte<br>Autotransporte | Vehículo por tipo<br>por combustible por<br>edad<br>Distancia recorrida<br>por tipo de vehículo | % de participación de cada tipo de vehículo en vehículo-km total.                       | E/km/año  |

Si bien, la construcción de escenarios de demanda energética a partir de indicadores de intensidad energética, es un enfoque adecuado cuando se dispone de poca información estadística de consumo y producción energética desagregada y, se tiene el riesgo de sobre estimar la demanda energética al mantener como premisa que la intensidad energética no se modificará respecto a ese año base considerado. Esto, generalmente no sucede, en particular en países en los que en su línea base ya se cuentan con programas y políticas de eficiencia energética, como el caso de México con las diferentes políticas de eficiencia energética que se han implementado. En un análisis más detallado se debe de analizar

también la tendencia histórica de la intensidad energética sectorial, y con base en esta tendencia histórica, realizar las proyecciones a futuro.

#### Escenario base

Como se mencionó previamente, el escenario base se construye a partir de las consideraciones establecidas para las variables independientes o exógenas al modelo como son: el crecimiento del PIB, la estructura del PIB, o el crecimiento poblacional y manteniendo constante la intensidad energética o el consumo unitario de energía para el año base. Por ejemplo, el consumo de energía del sector industrial dividido entre el PIB del mismo sector en el año base, es la intensidad energética del año base. Ese valor se mantendrá constante para los años futuros.

#### Escenarios del PIB

Para estimar el crecimiento anual del PIB y su estructura se puede utilizar la tendencia promedio registrada por esta variable en los últimos 10 años. Sin embargo, para evitar distorsiones como la que produciría en el promedio la caída del PIB de 2009, puede usarse la tendencia de los años 2000 a 2008; obviamente debe considerarse el valor registrado en 2009 y la recuperación esperada. El crecimiento del PIB es exponencial y la tasa promedio de crecimiento anual (TPA) se calcula por la siguiente ecuación:

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| $TPA = [(PIB_f/PIB_i)^{1/(f-i)}] - 1$ | 7.1 |
|---------------------------------------|-----|

Donde:

f es el año final (2008);

i el año inicial (2000).

PIB es el Producto Interno Bruto del país, estado o sector. Los datos del PIB deben estar valorados en pesos constantes para que sean comparables en el tiempo.

La información del PIB estatal y su estructura por sectores se encuentra disponible en el portal del INEGI en la sección Estadística en el banco de datos denominado “México en cifras, Información nacional por entidad federativa y municipios” en

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default> o en el banco de datos denominado “Sistema Estatal y Municipal de Bases de datos” en <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/>.

Alternativamente, se pueden emplear los escenarios de crecimiento económico oficiales.

### **Escenarios de población y hogares**

La tasa de crecimiento promedio anual de la población y del número de hogares se obtiene aplicando también la ecuación 6.1. Así el escenario se construye a partir de la tasa de crecimiento tendencial de los últimos 10 años. Los datos de población y número de hogares para cada estado e incluso municipio, también están disponibles en los bancos de datos del portal del INEGI señalados previamente. Por otra parte, el portal del Consejo Nacional de Población (CONAPO) en la sección denominada “México en cifras” ofrece las proyecciones de población (a nivel estatal y municipal) y de hogares (a nivel estatal).

## **VII.1 SECTOR RESIDENCIAL**

### *Año base*

El consumo de electricidad para el sector residencial de cada estado para diversos años está disponible en las estadísticas del portal de CFE. Dado que en general no se cuenta con un balance de energía estatal por sectores, el consumo de combustibles del sector residencial por estado debe estimarse a través de los usos finales.

Para el sector residencial pueden definirse los siguientes usos finales como los principales: cocción de alimentos, calentamiento de agua, y usos diversos entre los principales, se encuentran: iluminación, refrigeración, lavado de ropa, televisión y aire acondicionado.

El consumo de energía de determinado combustible para un uso final del sector residencial está definido para cada año por el número de hogares (actividad), el porcentaje de esos hogares que tiene determinado equipo que usa cierto combustible (estructura o saturación) y el consumo unitario de combustible o electricidad de ese equipo en ese año (intensidad energética o consumo unitario). La información del número de hogares, tipo de combustible

para cocinar y saturación de equipo doméstico está disponible a través de los censos de población y vivienda para los años 2000 y 2010.

Por ejemplo, el consumo de energía para la cocción de alimentos con estufa de gas LP para el año 2005 resultará de: multiplicar el número de hogares en 2005, por el porcentaje de hogares que tienen y usan estufa de GLP y, por el consumo promedio de GLP de una estufa en 2005. De la misma forma se calcula el consumo para todos los otros combustibles que se usan para cocción de alimentos, que en México, además del GLP son principalmente el gas natural y la leña. Matemáticamente, este cálculo se expresa en la siguiente ecuación:

$$Ec_{to} = \sum_j H_{to} * Sc_{j,to} * CUC_{j,to} \quad 7.2$$

Donde:

$Ec_{to}$  = Consumo de energía para cocción de alimentos en el año  $t_0$  (año base) en TJ

$H_{to}$  = Número de hogares en el año  $t_0$

$Sc_{j,t_0}$  = Porcentaje de hogares que utilizan el combustible  $j$  para cocción en el año  $t_0$

$CUC_{j,t_0}$  = Consumo unitario promedio de la estufa del combustible  $j$  en el año  $t_0$  en TJ/año

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> o de otro gas de efecto invernadero que provienen de la quema de combustibles para la cocción de alimentos, debe multiplicarse el consumo de dicho combustible por su factor de emisión. Expresado en forma matemática:

$$CO_{2\ cto} = \sum_j H_{t_0} * Sc_{j,t_0} * CUC_{j,t_0} * FE_{CO_{2t}} \quad 7.3$$

$$CH_{4\ cto} = \sum_j H_{t_0} * Sc_{j,t_0} * CUC_{j,t_0} * FE_{CH_{4t}} \quad 7.4$$

$$N_2O_{cto} = \sum_j H_{t_0} * Sc_{j,t_0} * CUC_{j,t_0} * FE_{N_2O_t} \quad 7.5$$

Para calcular el consumo de combustible y las emisiones de GEI producto del calentamiento de agua, la ecuación es la misma, pero obviamente el consumo unitario y las saturaciones serán para el calentador de agua. Se puede suponer que el combustible que se

usa para cocción es el mismo que se utiliza para calentamiento de agua (debe considerarse que la saturación de estufas es mayor en el país que la de calentadores de agua). Las emisiones de GEI producto del consumo de energía eléctrica para un electrodoméstico se calculan de forma similar. Los cuadros 5.1 y 5.2 presentan algunos ejemplos.

Las emisiones de GEI del sector residencial serán la suma de las emisiones para todos los usos, para todos los combustibles. Matemáticamente, queda expresado como:

$$\text{CO}_2_{\text{res } to} = \sum_{ij} H_{to} * S_{jito} * CU_{jito} * FE_{\text{CO}_2j} \quad 7.6$$

$$\text{CH}_4_{\text{res } to} = \sum_{ij} H_{to} * S_{jito} * CU_{jito} * FE_{\text{CH}_4j} \quad 7.7$$

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{res } to} = \sum_{ij} H_{to} * S_{jito} * CU_{jito} * FE_{\text{N}_2\text{O}j} \quad 7.8$$

Donde:

$res\ to$  se refiere a las emisiones del sector residencial para el año base  $to$ .

$\sum_{ij}$  es la suma de los combustibles  $j$  y los usos finales  $i$

$H_{to}$  es el número de hogares para el año base

$S_{jito}$  es el porcentaje de hogares que cuentan con el equipo para el uso final  $i$  que usa el combustible  $j$  en el año  $to$ .

$CU_{jito}$  es el consumo unitario del equipo para el uso final  $i$  que usa el combustible  $j$  en TJ/año.

$FE$  es el factor de emisión del gas en estudio, asociado al combustible  $j$  en kg/TJ.

El valor del consumo unitario para diferentes usos finales puede encontrarse en la Tabla A.3.2 del anexo 3.

Cuadro 5 Ejemplo de cálculo de emisiones por  
cocción de alimentos para el año base.

Emisiones de CO<sub>2</sub> del Distrito Federal producto del consumo de combustibles para cocción de alimentos en 2005<sup>(1)</sup>

Datos:

Hogares en el D.F. en 2005: 2.3 millones<sup>(2)</sup>.

Porcentaje de hogares que usan gas natural (GN) para cocción: 7%

Porcentaje de hogares que usan gas LP (GLP) para cocción: 91%

Porcentaje de hogares que usan leña para cocción: 2%<sup>(3)</sup>

Consumo unitario de estufa de GN y GLP: 8.1GJ/estufa/año = 0.0081 TJ/estufa/año

Factores de emisión GN: 55.8 tCO<sub>2</sub>/TJ; GLP: 62.4 tCO<sub>2</sub>/TJ

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de CO}_2 &= (2.3 \times 10^6 * 0.07 * 0.0081 * 55.8) + (2.3 \times 10^6 * 0.91 * 0.0081 * 62.4) \\ &= 1.13 \times 10^6 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

Notas:

(1) Los datos empleados en el ejemplo son estimados

(2) Fuente de información para la consulta de datos de cada entidad: INEGI. 2005 o 2010. Censo Nacional de población y vivienda.

(3) La leña no es considerada en las emisiones de CO<sub>2</sub>

Cuadro 6. Ejemplo de cálculo de las emisiones por iluminación, para el año base.

Emisiones de CO<sub>2</sub> por iluminación eléctrica en hogares, considerando que en promedio cada hogar del D.F. tuvo en 2005, 3 focos de 100 watts encendidos por 3 horas diarias.

Datos:

Hogares en el D.F. en 2005: 2.3 millones

Porcentaje de hogares electrificados: 99%<sup>(2)</sup>

Potencia = 100 watts x 3 focos = 300 watts

Horas del consumo al año = 3 horas x 365 días = 1095 horas

Equivalencia Watt-Joule = 3600 GJ/GWh

Consumo anual por hogar para 2005 =  $300 \cdot 1095 / 1000 = (328.5 \text{ kWh}) \cdot 3600 / 1 \times 10^6 = 1.18 \text{ GJ} = 0.00118 \text{ TJ}$

Factor de emisión de la red eléctrica para 2005 = 145.22 tCO<sub>2</sub>/TJ

Emisiones de CO<sub>2</sub> =  $2.3 \times 10^6 \cdot 0.99 \cdot 0.00118 \cdot 145.22$   
 $= 0.392 \times 10^6 \text{ tCO}_2$

Nota:

(1) Los datos empleados en el ejemplo son estimados.

(2) Fuente de información para la consulta de datos de cada entidad: INEGI. 2011. Anuario de estadísticas por entidad federativa.

Dado que se están considerando los principales usos finales más no todos, puede haber un residuo del consumo de electricidad que puede considerarse como “otros” usos y será la resta del consumo total de electricidad del sector residencial del estado, menos el consumo estimado de los usos finales.

#### Escenario base

La proyección para el escenario base de las emisiones, considera que el consumo unitario o intensidad energética se mantiene constante y que varían, tanto el número de hogares, como la saturación de los equipos domésticos.

La tasa de crecimiento anual tanto del número de hogares, como de la saturación de equipo doméstico, puede estimarse utilizando la tendencia histórica. El cuadro 5.3 muestra un ejemplo para las emisiones provenientes de la cocción de alimentos.

Cuadro 7. Ejemplo de las emisiones para el escenario base  
 producto de la cocción de alimentos

Emisiones de CO<sub>2</sub> del Distrito Federal por el consumo de combustibles para cocción de alimentos para el año 2020<sup>(1)</sup>

Datos:

Tasa anual de crecimiento de los hogares: 0.89%<sup>(2)</sup>

Tasa anual de crecimiento de hogares que usan gas natural para cocción: 1.49%

Tasa anual de crecimiento de hogares que usan gas LP para cocción: -0.11%

Tasa anual de crecimiento de hogares que usan leña para cocción: -0.01%

Tomando los datos del cuadro 5.1 para el año 2005:

Hogares 2020: 2.63 millones

Porcentaje de hogares que usarán gas natural para cocción en 2020: 8.7%

Porcentaje de hogares que usarán GLP para cocción en 2020: 89.5%

Porcentaje de hogares que usarán leña para cocción en 2020: 1.8%

Consumo unitario de estufa de GN y GLP 2005 y 2020: 8.1GJ/estufa/año = 0.081 TJ/estufa/año

Factor de emisión GN: 55.8 tCO<sub>2</sub>/TJ; GLP: 62.4 tCO<sub>2</sub>/TJ

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= (2.63 \times 10^6 * 0.087 * 0.0081 * 55.8) + (2.63 \times 10^6 * 0.895 * 0.0081 * 62.4) \\ &= 1.29 \times 10^6 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

Notas:

(1) Los datos son estimados

(2) Tasa de crecimiento exponencial. Tasa =  $(V_f/V_i)^{(1/n)} - 1$ ;

Donde V<sub>f</sub> = Valor final; V<sub>i</sub> = Valor inicial; n = número de años.

En 2000 había 2.2 millones de hogares en el D.F. y en 2005: 2.3 millones de hogares;

Las emisiones del escenario base para el año t se expresan matemáticamente por las siguientes ecuaciones:

$$\text{CO}_{2\text{res } t} = \sum_{ij} H_t St_{ij}, \text{CUto}_{ij}, \text{FECO}_{2j} \quad 7.9$$

$$\text{CH}_{4\text{res } t} = \sum_{ij} H_t St_{ij}, \text{CUto}_{ij}, \text{FECH}_{4ij} \quad 7.10$$

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{res } t} = \sum_{ij} H_t St_{ij}, \text{CUto}_{ij}, \text{FEN}_2\text{O}_{ij} \quad 7.11$$

Donde:

CO<sub>2res t</sub>; CH<sub>4res t</sub>; N<sub>2Ores t</sub> son las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2O</sub> del sector residencial para el año t (posterior al año base).

$S_{t,ij}$  es el porcentaje de hogares que utilizan el combustible o electricidad  $j$  para el uso final  $i$  para el año  $t$

$CU_{t,ij}$  es el consumo unitario del combustible o electricidad  $j$  para el uso final  $i$  para el año  $t$  (pues este indicador se mantiene constante) en TJ.

FE es el factor de emisión del combustible o de la electricidad  $j$  en kg/TJ.

### Escenario de mitigación

Los escenarios de mitigación de GEI incluyen cambios en la eficiencia de la tecnología, cambios en los combustibles o incorporación de fuentes renovables de energía.

Las ecuaciones que permiten calcular las emisiones para el escenario base, deben ser modificadas para incorporar la nueva tecnología. De esta forma, para cada año, posterior al año base, el consumo de energía y las emisiones de GEI del sector residencial serán la suma del consumo de energía de los hogares que siguen utilizando la tecnología disponible en el año base (tecnología convencional) más la suma de los hogares que utilizan la nueva tecnología (tecnología de mitigación).

Expresado matemáticamente:

$$CO_{2res\ t} = \sum_{ij} H_t S_{ijt} CU_{ijto} FE_{CO_2j} + \sum_{ij} H_t S_{mit\ ij\ t} CU_{mit\ ij\ t} FE_{CO_2ij} \quad 7.12$$

$$CH_{4res\ t} = \sum_{ij} H_t S_{ijt} CU_{ijto} FE_{CH_4j} + \sum_{ij} H_t S_{mit\ ij\ t} CU_{mit\ ij\ t} FE_{CH_4ij} \quad 7.13$$

$$N_2O_{res\ t} = \sum_{ij} H_t S_{ijt} CU_{ijto} FE_{N_2Oj} + \sum_{ij} H_t S_{mit\ ij\ t} CU_{mit\ ij\ t} FE_{N_2Oij} \quad 7.14$$

Donde:

$CO_{2res\ t}$ ;  $CH_{4res\ t}$ ;  $N_2O_{res\ t}$  son las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  del sector residencial para el año  $t$ .

$H_t$  es el número de hogares en el año  $t$

$S_{ijt}$  es el porcentaje de hogares que utilizan la tecnología convencional (consumo unitario del año  $t_0$ ) y el combustible  $j$  en el año  $t$

$CU_{ijto}$  es el consumo unitario de la tecnología convencional en el año base  $t_0$  para el combustible  $j$  en TJ/año

$FE_{ij}$  es el factor de emisión del gas en cuestión asociado al combustible  $j$  y tecnología o uso final  $i$  en kg/TJ.

Mientras que:

$Smit_{ijt}$  es el porcentaje de hogares que utilizan la tecnología de mitigación y el combustible  $j$  en el año  $t$ .

$CUmit_{ijt}$  es el consumo unitario de la tecnología de mitigación en el año  $t$  en TJ.

Para el escenario base, el segundo sumando de cada ecuación es igual a cero.

Conforme se vayan incorporando más tecnologías, pueden incrementarse los sumandos con el porcentaje de hogares que tienen las otras tecnologías y el consumo unitario de las mismas.

Cada año, la saturación de la tecnología convencional será menor y la de la tecnología de mitigación será mayor. La incorporación de la nueva tecnología puede incrementarse con políticas orientadas a ello.

La Tabla 7 resume la información necesaria para la estimación de los escenarios del sector residencial.

Tabla 7 Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sector residencial

| Información  | Fuente  |
|--|---|
| Consumo de energía final estatal (año base)  | Prospectivas del Mercado del Gas Natural, Prospectivas del Mercado de Gas LP.   |
| Consumo de electricidad residencial (año base)   | CFE. Estadística de Ventas por sectores.  |
| Número de hogares (año base)   | INEGI. Censo de población y vivienda o Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.                             |
| Tasa de crecimiento promedio anual del número de hogares (se calcula a partir de la ecuación 5.1, sustituyendo el PIB por la Población). | INEGI (Número de hogares en el año inicial y el número de hogares en el año final del período de tendencia seleccionado). |
| Combustible para cocinar   | Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los   |

|  |  |
|--|--|
|  | Hogares.   |
| Equipos domésticos por vivienda                        | INEGI. Censo de población y vivienda o Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.  |
| Consumo unitario por equipo año base                   | Rosas et al. 2010 (Anexo 1 de esta Guía).  |
| Consumo unitario para equipo eficiente                 | Normas, Programa <i>Energy Star</i> de Estados Unidos, Programas europeos de estándares de equipos domésticos, ver Capítulo 10 de esta Guía. |
| Factores de emisión CO <sub>2</sub>                    | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.  |
| Factores de emisión CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.  |

## VII.2 SECTOR COMERCIAL

El consumo de energía del sector comercial se compone del consumo de diferentes subsectores como hoteles, restaurantes, tiendas, etc. y diferentes usos. Desafortunadamente, en el caso del sector comercial existe poca información en el país que permita desagregar el consumo a los niveles que se usan para estimar el consumo del sector residencial. En otros países en los que se dispone de mayor información, una de las variables que pueden servir para definir la actividad es el metro cuadrado construido o las personas ocupadas en el sector comercio, por metro cuadrado construido, para el caso de edificios.

Cuando esta información no está disponible, la actividad puede establecerse como el PIB del sector comercial en el estado y la intensidad energética será el consumo de energía entre el PIB comercial.

### Año base

El consumo de energía por sectores y combustibles no necesariamente está disponible para los estados y el D.F. Sin embargo el consumo de electricidad por sector para cada estado sí se conoce por las estadísticas de ventas de CFE. Una forma de estimar el consumo de combustibles es utilizando la estructura del consumo de combustibles y la intensidad energética a nivel nacional y multiplicando por el PIB comercial del estado. La siguiente ecuación muestra esta estimación:

$$Ecom_{jto} = \frac{Ecom_{j\text{ nac to}}}{Ecom_{\text{nac to}}} * \frac{Ecom_{\text{nac to}}}{PIB\text{ com}_{\text{nac to}}} * PIB\text{ com}_{\text{est to}} \quad 7.15$$

Donde:

$Ecom_{j\text{ nac to}}$  = Consumo del combustible j del sector comercial nacional en el año to en TJ

$Ecom_{\text{nac to}}$  = Consumo total de combustibles del sector comercial nacional en el año to en TJ

$PIBcom_{\text{nac to}}$  = PIB comercial nacional en el año to en millones de pesos constantes

$PIBcom_{\text{est to}}$  = PIB comercial estatal en el año to en millones de pesos constantes

Previo a utilizar esta guía debe conocerse si todos los combustibles que se utilizan a nivel nacional están disponibles en los estados. Por ejemplo, el gas natural no está disponible para uso comercial y residencial en todos los estados de la República. En cuyo caso puede asumirse el porcentaje que representa el consumo de gas natural a nivel nacional para el GLP del estado. La información de la estructura de combustibles e intensidad energética para los diversos sectores a nivel nacional se encuentra disponible en el Anexo 3 de esta Guía.

Estas aproximaciones deberán irse reduciendo en la medida que esté disponible el balance de energía por sectores para los estados.

#### Escenario base

Para los años futuros, el escenario base se calcula manteniendo la intensidad energética constante y haciendo variar el PIB comercial de acuerdo con su tendencia histórica. Matemáticamente quedará expresado como:

$$CO_{2Ct} = \sum_j PIBc_t IE_{jto} FE_{CO_2jt} \quad 7.16$$

$$CH_{4Ct} = \sum_j PIBc_t IE_{jto} FE_{CH_4jt} \quad 7.17$$

$$N_2O_{Ct} = \sum_j PIBc_t IE_{jto} FE_{N_2Ojt} \quad 7.18$$

Donde:

$CO_2C_t$ ;  $CH_4C_t$ ;  $N_2OC_t$  son las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  del sector comercial para el año  $t$ .

$PIBC_t$  es el PIB del sector comercial para el año  $t$  que puede ser calculado a partir de la tasa de crecimiento anual y está dada en pesos constantes en miles de millones de pesos.

$IE_{jto}$  es la intensidad energética del año base  $t_0$  (Joule/pesos). Se sugiere la IE nacional que se presenta en Tabla A.3.1 en kJ/pesos de 1993.

FE es el factor de emisión del gas en cuestión ( $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ ) asociado al combustible  $j$ .

En kg/TJ

### Escenario de mitigación

El escenario base para el sector comercial se construye a partir del PIB. Esto es correcto para poder estimar las emisiones futuras cuando no hay mayor disponibilidad de información de los usos finales, sin embargo no permite calcular la disminución de las emisiones al aplicar una tecnología eficiente.

Para construir el escenario de mitigación, la emisión de cada tecnología eficiente o cambio en el consumo de combustible debe ser evaluada por separado y posteriormente restarla de las emisiones del escenario base del sector comercial.

Por ejemplo si se sustituyen 5000 calderas medianas convencionales por eficientes, deberá calcularse la emisión de 5000 calderas convencionales y eficientes. La diferencia se reducirá del escenario base.

De igual forma, si se sustituyen 1000 lámparas convencionales por la misma cantidad de lámparas eficientes, deberá calcularse la emisión de cada tecnología. La diferencia en las emisiones se resta del escenario base.

Asimismo, si se sustituye un combustible de mayor factor de emisión, por uno de menor factor de emisión (por ejemplo gas natural por combustóleo), deberá calcularse la reducción en las emisiones producidas por la sustitución y restarlo del escenario base. Esto se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$\text{CO}_2\text{Ct} = \sum_i \text{PIBC}_t \text{IE}_{it} \text{FE}_{\text{CO}_2i} - \Delta\text{CO}_2\text{conv-mit} \quad 7.19$$

y

$$\Delta\text{CO}_2\text{conv-mit} = \text{Eq}_t (\text{CU}_{\text{conv}} \text{FE}_{\text{convCO}_2jt} - \text{CU}_{\text{mit}} \text{FE}_{\text{mitCO}_2jt}) \quad 7.20$$

Donde:

$\text{Eq}_t$  es el número de equipos a ser sustituidos en el año t

$\text{CU}_{\text{conv}}$  es el consumo unitario de combustible o de electricidad j del equipo convencional en el año t en TJ/año

$\text{FE}_{\text{convCO}_2jt}$  es el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  asociado al combustible j que utiliza el equipo convencional en el año t en kg/TJ.

$\text{CU}_{\text{mit}}$  es el consumo unitario de combustible o electricidad j del equipo de mitigación en el año t en TJ.

$\text{FE}_{\text{mitCO}_2jt}$  es el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  asociado al combustible j que utiliza el equipo de mitigación en el año t en kg/TJ.

De forma similar, se calcula la mitigación para los otros gases. La Tabla 8 resume la información necesaria para la estimación de los escenarios de este sector.

Tabla 8 Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sector comercial

| Información  | Fuente  |
|--|---|
| Consumo de electricidad comercial (año base)   | CFE. Estadística de Ventas por sectores.  |
| PIB comercial del estado (año base)  | INEGI   |
| Tasa de crecimiento promedio anual del PIB comercial del estado (se calcula a partir de la ecuación 5.1 de esta Guía). | INEGI (valor del PIB comercial del estado para el año inicial y para el año final del período de tendencia seleccionado).   |
| Estructura de combustibles para el sector comercial  | Puede aproximarse con la estructura de consumo de combustibles a nivel nacional que se presenta en el Anexo 3 de esta Guía (cuidando el uso o no del gas natural en la localidad en estudio). |
| Intensidad energética para el año base (E/PIBcomercial)  | Puede aproximarse con la intensidad energética del sector comercial a nivel nacional que se presenta en el Anexo 3 de esta Guía.  |

| Información  | Fuente  |
|--|---|
| Consumo unitario para equipo eficiente                 | Normas, Programa <i>Energy Star</i> de Estados Unidos, Programas europeos de estándares de equipos comerciales y Capítulo 6 de esta Guía. |
| Factores de emisión CO <sub>2</sub>                    | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.   |
| Factores de emisión CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.   |

### VII.3 SECTOR AGROPECUARIO

#### Año base

El consumo de energía en el sector agropecuario tiene diferentes usos. Por ejemplo, el diesel se usa tanto para el movimiento de tractores como para calefacción, la electricidad se usa para iluminación y para bombeo de agua, etc. Si se posee información por uso final y energético, se puede al igual que en otros países, usar una medida de superficie, por ejemplo la hectárea, como variable adecuada de actividad.

Desafortunadamente, al igual que en el caso del sector comercial existe poca información en el país que permita desagregar el consumo a los niveles de uso final. Por esta razón, la actividad puede establecerse también como el PIB del sector agropecuario en el estado y la intensidad energética será el consumo de energía entre el PIB agropecuario.

Dado que por lo general, la información del consumo de energía de los estados sólo está disponible para electricidad, puede hacerse nuevamente la suposición gruesa de que la intensidad energética y la estructura de combustibles del sector a nivel nacional es una aproximación para la intensidad energética (E/PIB) y la estructura de combustibles del sector agropecuario del estado. Las intensidades nacionales se encuentran disponibles en el Anexo 3.

Sin embargo, para el caso del riego agrícola, puede conocerse con mayor detalle el consumo de electricidad, dado que está establecido en las estadísticas de ventas por tarifas de la CFE. Las tarifas aplicables al riego agrícola son la Tarifa 9-CU (Tarifa de Estímulo para Bombeo de Agua para Riego Agrícola con cargo único) y la Tarifa 9-N, (Tarifa de Estímulo Nocturna para Bombeo de Agua para Riego Agrícola). El consumo de electricidad por estado puede consultarse en el portal de la CFE

(<http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/PorTarifa.aspx>), así como en los Anuarios Estadísticos de los Estados elaborados por el INEGI, en el rubro de electricidad.

Asimismo es posible conocer las hectáreas de riego en cada estado o municipio a través del cuadro de unidades de producción con superficie agrícola y su distribución según disponibilidad de agua para riego y área de temporal del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal que publica el portal del INEGI. Para este uso puede establecerse un indicador cuya variable de actividad sea la hectárea y la intensidad energética, el consumo de electricidad por hectárea. En este caso puede desagregarse el consumo de energía del sector agropecuario en consumo de electricidad y consumo de combustibles.

#### Escenario base

Para los años futuros, considerando como variable de actividad el PIB agropecuario del estado, el escenario base se calcula manteniendo la intensidad energética constante del año base y haciendo variar el PIB agropecuario de acuerdo a sus tendencias históricas.

Matemáticamente quedará expresado como:

$$\text{CO}_2\text{At} = \sum_j \text{PIBA}_t \text{IE}_{jt} \text{FE}_{\text{CO}_2i} \quad 7.21$$

$$\text{CH}_4\text{At} = \sum_j \text{PIBA}_t \text{IE}_{jt} \text{FE}_{\text{CH}_4ij} \quad 7.22$$

$$\text{N}_2\text{OAt} = \sum_j \text{PIBA}_t \text{IE}_{jt} \text{FE}_{\text{N}_2\text{O}ij} \quad 7.23$$

Donde:

$\text{CO}_2\text{At}$ ;  $\text{CH}_4\text{At}$ ;  $\text{N}_2\text{O At}$  son las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  del sector agropecuario para el año t.

$\text{PIBA}_t$  es el PIB del sector agropecuario para el año t en miles de millones de pesos constantes de 1993.

FE es el factor de emisión del gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) asociado al combustible j en kg/TJ.

Para el caso en el que se mantiene separado el cálculo del riego agrícola, las emisiones estarán dadas por:

$$\text{CO}_2\text{RA}_t = \sum \text{Ha}_t \text{IE}_t \text{FECO}_{2t} \quad 7.24$$

$$\text{CH}_4 \text{RA}_t = \sum \text{Ha}_t \text{IE}_t \text{FECH}_{4t} \quad 7.25$$

$$\text{N}_2\text{O RA}_t = \sum \text{Ha}_t \text{IE}_t \text{FEN}_2\text{O}_t \quad 7.26$$

Donde RA es riego agrícola:

$\text{Ha}_t$  son las hectáreas de riego en el año t

$\text{IE}_t$  es el consumo promedio de electricidad por hectárea para el año t en TJ/ha

$\text{FE}_t$  el factor de emisión eléctrico para el año t en kg/TJ.

### Escenario de mitigación

La metodología para el sector agropecuario es equivalente a la del sector comercial. Es decir, se evalúan las tecnologías de forma externa al modelo y después se incorpora al escenario de mitigación, como:

$$\text{CO}_2\text{A}_t = \sum_j \text{PIBA}_t \text{IE}_{jt} \text{FECO}_{2j} - \Delta\text{CO}_2\text{conv-mit} \quad 5.27$$

y

$$\Delta\text{CO}_2\text{conv-mit} = \text{Eq}_t (\text{CUconv}_{jt} \text{FEconvCO}_{2jt} - \text{CUmit}_t \text{FEmit}_t \text{CO}_2) \quad 5.28$$

Donde:

$\text{Eq}_t$  es el número de equipos a ser sustituidos en el año t

$\text{CUconv}$  es el consumo unitario de combustible o de electricidad j del equipo convencional en el año t en TJ/año.

$\text{FEconvCO}_{2jt}$  es el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  asociado al combustible j que utiliza el equipo convencional en el año t en kg/TJ.

$\text{CUmit}$  es el consumo unitario de combustible o electricidad j del equipo de mitigación en el año t en TJ/año.

$\text{FEmitCO}_{2jt}$  es el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  asociado al combustible j que utiliza el equipo de mitigación en el año t en kg/TJ.

De forma similar, se calcula la mitigación para los otros gases.

En el caso del cálculo por separado de riego agrícola, la reducción de emisiones para años futuros se pueden calcular como:

|  |      |
|--|------|
| $CO_{2RA_t} = \sum Ha_t IE_t FE_{CO_{2t}} - \sum Ha_t IE_{mit_t} FE_{CO_{2t}}$ | 7.29 |
| $CH_{4RA_t} = \sum Ha_t IE_t FE_{CH_{4t}} - \sum Ha_t IE_{mit_t} FE_{CH_{4t}}$ | 7.30 |
| $N_2O_{RA_t} = \sum Ha_t IE_t FE_{N_2O_t} - \sum Ha_t IE_{mit_t} FE_{N_2O_t}$  | 7.31 |

Donde IE<sub>mit</sub> es el consumo de energía eléctrica por hectárea para el caso de la tecnología de mitigación. La Tabla 9 muestra la información necesaria para elaborar los escenarios para este sector.

Tabla 9 Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sector agropecuario

|          | Información   | Fuente   |
|----------|---|--|
| Opción 1 | Consumo de electricidad del sector agropecuario (año base).   | CFE. Estadística de Ventas por sectores.   |
|          | PIB agropecuario del estado (año base)  | INEGI  |
|          | Tasa de crecimiento promedio anual del PIB agropecuario del estado (se calcula a partir de la ecuación 5.1 de esta Guía). | INEGI (valor del PIB agropecuario del estado para el año inicial y para el año final del período de tendencia seleccionado).               |
|          | Estructura de combustibles para el sector agropecuario  | Puede aproximarse con la estructura nacional (Anexo 3 de esta Guía).   |
|          | Intensidad energética para el año base (E/PIB <sub>agropecuario</sub> )   | Puede aproximarse con la intensidad energética a nivel nacional (Anexo 2 de esta Guía).  |
|          | Consumo unitario para equipo eficiente  | Normas, Programa <i>Energy Star</i> de Estados Unidos, Programas europeos de estándares de equipos agrícolas, ver Capítulo 6 de esta Guía. |
| Opción 2 | Consumo de electricidad del sector agropecuario (año base)  | CFE. Estadística de Ventas por tarifa.   |
|          | Superficie sembrada o de riego  | INEGI  |
|          | Intensidad energética para el año base (E/ha)   | Estimación nacional  |
|          | Tecnologías o prácticas para escenarios de mitigación   | Referencias internacionales  |
|          | Factores de emisión CO <sub>2</sub>   | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.  |
|          | Factores de emisión CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O  | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta  |

| Información | Fuente |
|-------------|--------|
|             | Guía.  |

#### VII.4 SECTOR PÚBLICO

##### Año base

En el Balance Nacional de Energía (BNE) el sector público se refiere al consumo de energía para alumbrado público y bombeo de agua y sólo considera electricidad.

La tarifa que aplica CFE para el caso de alumbrado público es la 5 (para las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara) y la 5A para las demás ciudades o poblados de los diferentes estados; mientras que la tarifa 6 se aplica al bombeo de agua potable y agua negra. Sin embargo, la tarifa 6 no refleja todo el bombeo de agua pues existen instalaciones que están conectadas en media o alta tensión y que son contabilizadas con otras tarifas, no obstante, en los Anuarios Estadísticos de los Estados, publicados por el INEGI, en el capítulo referente a energía, se muestran las estadísticas del consumo de electricidad en el estado y sus municipios, incluyendo bombeo de agua.

Son pocos los estados que poseen información desagregada del número de luminarias y de las plantas de bombeo y de tratamiento de aguas residuales. Si se cuenta con esos datos, se asumirá para iluminación, que el número de luminarias es la actividad y la intensidad energética es el consumo de electricidad por luminaria (calculado como el consumo de energía eléctrica entre el número de luminarias para el año base) y para bombeo de agua, la actividad es el número de plantas de bombeo y la intensidad energética es el consumo de electricidad por planta de bombeo.

Si no se cuenta con esta información, se sugiere asumir como actividad para iluminación, la superficie territorial urbana del estado o en su defecto la población del estado, por tanto, la intensidad energética o consumo unitario estará dado por el consumo de energía entre la actividad seleccionada: superficie urbana o población.

Escenario base

Matemáticamente, las emisiones de este sector para el año futuro t pueden expresarse como:

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| $CO_2P_t = P_t IE_{ito} FEE_{CO_2t}$  | 7.32 |
| $CH_4P_t = P_t IE_{ito} FEE_{CH_4t}$  | 7.33 |
| $N_2OP_t = P_t IE_{ito} FEE_{N_2O_t}$ | 7.34 |

Donde:

$CO_2P_t$ ;  $CH_4P_t$ ;  $N_2OP_t$  son las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  del sector público para el año t

$P_t$  es la población para el año t.

$FEE_t$  es el factor de emisión eléctrico para cada gas en kg/TJ

Si la información del consumo de energía por sector no está disponible para el estado, puede hacerse la gruesa suposición de que la intensidad energética del sector público a nivel nacional es igual a la del estado o entidad en análisis.

Escenario de mitigación

La metodología para el sector público es similar a la de los sectores agropecuario y comercial, pero tomando la población como variable de actividad. De cualquier forma, se evalúan las tecnologías de forma externa al modelo y después se incorpora al escenario de mitigación, como:

|  |      |
|--|------|
| $CO_2A_t = \sum_i P_t IE_{it} FECO_{2i} - \Delta CO_2 \text{conv-mit}$ | 7.35 |
|--|------|

y

|   |      |
|---|------|
| $\Delta CO_2 \text{ conv-mit} = Eq_t (CU_{\text{conv}}_{tj} FE_{\text{conv}}_{CO_2jt} - CU_{\text{mit}}_t FE_{\text{mit}}_{it} CO_2)$ | 7.36 |
|---|------|

Donde:

$Eq_t$  es el número de equipos a ser sustituidos en el año  $t$

$CU_{conv}$  es el consumo unitario de combustible o de electricidad  $j$  del equipo convencional en el año  $t$  en TJ/año

$FE_{convCO_2 j_t}$  es el factor de emisión de  $CO_2$  asociado al combustible  $j$  que utiliza el equipo convencional en el año  $t$  en kg/TJ.

$CU_{mit}$  es el consumo unitario de combustible o electricidad  $j$  del equipo de mitigación en el año  $t$  en J/año.

$FE_{mitCO_2 j_t}$  es el factor de emisión de  $CO_2$  asociado al combustible  $j$  que utiliza el equipo de mitigación en el año  $t$  en kg/TJ.

De forma similar, se calcula la mitigación para los otros gases. La Tabla 10 muestra la información mínima necesaria para calcular las emisiones para este sector.

Tabla 10 Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sector público.

|          | Información   | Fuente   |
|----------|---|--|
| Opción 1 | Consumo de electricidad del sector público (año base)   | CFE. Estadística de Ventas.  |
|          | Población del estado (año base)   | INEGI. Censo Nacional de Población y Vivienda.   |
|          | Tasa de crecimiento promedio anual de la población del estado (se calcula con la ecuación 5.1 sustituyendo el PIB por la Población) | INEGI. (Población del año inicial y del año final del período de tendencia seleccionado).          |
|          | Intensidad energética (Energía/población (año base))  | Se calcula a partir de los dos primeros datos de esta opción.                                      |
| Opción 2 | Consumo de electricidad del sector público (año base)   | CFE. Estadística de Ventas.  |
|          | Área urbanizada del estado (año base)   | INEGI  |
|          | Tasa de crecimiento promedio anual del área urbanizada.   | INEGI (área urbanizada en el año inicial y en el año final del período de tendencia seleccionado). |
|          | Intensidad energética (Energía/área urbanizada (año base))  | Se calcula a partir de los dos primeros datos de esta opción.                                      |
| Opción 3 | Consumo de electricidad del alumbrado público (año base)  | CFE. Estadística de Ventas por tarifa.   |
|          | Número de luminarias públicas en el estado o municipio  | Información estatal o municipal  |
|          | Consumo de electricidad para bombeo de agua (año base)  | CFE. Estadística de Ventas por tarifa.   |

|   |   |
|---|---|
| Número de bombas en la tarifa establecida                             | Información estatal o municipal               |
| Factor de emisión eléctrico para CO <sub>2</sub>                      | PICC (2006b), Energía y Anexo 2 de esta Guía. |
| Factores de emisión eléctrico para CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | PICC (2006b), Energía y Anexo 2 de esta Guía. |

## VII.5 SECTOR INDUSTRIAL

### Año base

Para el sector industrial, el consumo de combustibles en el año base puede estimarse de forma similar a los sectores comercial y agropecuario. Es decir, se utiliza la intensidad energética y la estructura de combustibles a nivel nacional y el PIB industrial del estado. Para usar este supuesto, previamente debe verificarse si se usa gas natural en el estado.

Por su parte, el consumo de electricidad para la mediana y la gran industria está disponible por estado en las estadísticas de CFE.

A nivel nacional, el BNE divide al sector industrial en diversas ramas que son: siderurgia, química básica, azúcar, petroquímica de Pemex, cemento, minería, celulosa y papel, vidrio, cerveza y malta, fertilizantes, automotriz, aguas envasadas, construcción, hule, aluminio, tabaco y otras ramas.

Así, el PIB industrial sería la actividad, la estructura vendría dada por la participación del PIB de cada rama en el PIB industrial y el consumo de energía de cada rama entre el PIB industrial sería la intensidad energética.

Otra opción es considerar la producción en unidades físicas para cada rama como la actividad. En este caso no se consideraría la variable “estructura” y la intensidad energética, a la que también se le conoce como consumo unitario, sería el consumo de combustibles y de electricidad por unidad física de producción. Si se quiere utilizar esta opción, la información se puede obtener de los censos económicos que realiza el INEGI cada 10 años. El último fue elaborado en el año de 2009; así mismo anualmente el INEGI publica estadísticas sobre la producción de las principales ramas industriales del país, en la serie Anuarios Estadísticos Industriales, tal es el caso del Anuario Estadístico

de la Industria Siderúrgica o de la Automotriz. En el portal electrónico del INEGI, en la sección del Banco de Información Económica (<http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>) también se puede consultar la producción industrial del país y utilizar el consumo unitario por sector a nivel nacional.

### Escenario base

Considerando el PIB como la variable de actividad, las emisiones de GEI del sector industrial pueden expresarse matemáticamente como:

$$CO_2I_t = \sum_i \sum_j PIBI_t IE_{jt} FE_{CO_2i}$$

$$CH_4I_t = \sum_i \sum_j PIBI_t IE_{jt} FE_{CH_4ij}$$

$$N_2OI_t = \sum_i \sum_j PIBI_t IE_{jt} FE_{N_2Oij}$$

Y si se conoce la estructura para diferentes industrias como:

$$CO_2I_t = \sum_i \sum_j PIBI_t S_{ijt} IE_{ijt} FE_{CO_2i} \quad 7.37$$

$$CH_4I_t = \sum_i \sum_j PIBI_t S_{ijt} IE_{ijt} FE_{CH_4ij} \quad 7.38$$

$$N_2OI_t = \sum_i \sum_j PIBI_t S_{ijt} IE_{ijt} FE_{N_2Oij} \quad 7.39$$

Donde:

$CO_2I_t$ ;  $CH_4I_t$ ;  $N_2OI_t$  son las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  del sector industrial para el año t

$PIBI_t$  es el PIB del sector industrial para el año t en miles de millones de pesos conatntes de 1993.

$S_{ijt}$  es el porcentaje de participación de la rama industrial j en el  $PIBI_t$  que utiliza el combustible o electricidad i en el año t

$IE_{ijt}$  es la intensidad energética del combustible o electricidad i para la rama industrial j en el año t. Se sugiere usar la nacional cuyo valor está en la Tabla A.3.1. en kJ/pesos de 1993.

$FE_t$  es el factor de emisión del gas asociado al combustible o electricidad  $i$  en kg/TJ.

Si la información del consumo de energía por sector no está disponible para el estado, puede hacerse la gruesa suposición de que la intensidad energética de cada rama industrial a nivel nacional es igual a la del estado o entidad en análisis. Dado que no todas las ramas industriales están presentes en todos los estados, previamente debe contarse con la información de las ramas industriales que producen en el estado en estudio.

#### Escenario de mitigación

Al igual que en los sectores comercial, agropecuario y público, se evalúan las tecnologías de forma externa al modelo y después se incorpora al escenario de mitigación. Las tecnologías se aplican por rama industrial cuando son de exclusiva aplicación a determinada rama o a todo el sector cuando se trata de tecnologías transversales.

$$CO_2A_t = \sum_i PIBI_t IE_{it} FE_{CO_2i} - \Delta CO_2 \text{conv-mit} \quad 7.40$$

y

$$\Delta CO_2 \text{ conv-mit} = Eq_t (CU_{\text{conv}j} FE_{\text{conv}CO_2jt} - CU_{\text{mit}t} FE_{\text{mit}t} CO_2) \quad 7.41$$

Donde:

$Eq_t$  es el número de equipos a ser sustituidos en el año  $t$

$CU_{\text{conv}}$  es el consumo unitario de combustible o de electricidad  $j$  del equipo convencional en el año  $t$  en TJ/año.

$FE_{\text{conv}CO_2jt}$  es el factor de emisión de  $CO_2$  asociado al combustible  $j$  que utiliza el equipo convencional en el año  $t$  en kg/TJ.

$CU_{\text{mit}}$  es el consumo unitario de combustible o electricidad  $j$  del equipo de mitigación en el año  $t$  en TJ/año.

$FE_{\text{mit}CO_2jt}$  es el factor de emisión de  $CO_2$  asociado al combustible  $j$  que utiliza el

equipo de mitigación en el año t en kg/TJ.

De forma similar, se calcula la mitigación para los otros gases. La Tabla 11 muestra la información mínima necesaria para este caso.

Tabla 11. Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sector industrial.

|  | Información  | Fuente   |
|--|--|--|
| Opción 1   | Consumo de electricidad del sector industrial (año base)   | CFE. Estadística de Ventas por sector.   |
|  | PIB industrial del estado (año base)   | INEGI, Censos económicos.  |
|  | Tasa de crecimiento promedio anual del PIB industrial del estado (se calcula con la ecuación 5.1). | INEGI. (PIB industrial del año inicial y del año final del período de tendencia seleccionado).   |
|  | Estructura de combustibles para el sector industrial.  | Puede aproximarse con la estructura nacional que se presenta en el Anexo 3 de esta Guía, previa revisión del uso del gas natural en el estado. |
|  | Intensidad energética para el año base (E/PIB industrial)  | Puede aproximarse con la intensidad energética a nivel nacional (Anexo 2 de esta Guía).  |
|  | Consumo unitario para equipo eficiente   | Normas, Programa <i>Energy Star</i> de Estados Unidos, Programas europeos de estándares de equipos industriales y Capítulo 6 de esta Guía.     |
| Opción 2   | Consumo de electricidad del sector industrial (año base)   | CFE. Estadística de Ventas.  |
|  | PIB de cada rama industrial por estado (año base)  | INEGI, Censos económicos. Información estatal.   |
|  | Estructura de combustibles para cada rama industrial.  | Puede aproximarse con la estructura nacional que se presenta en el Anexo 3 de esta Guía, previa revisión del uso del gas natural en el estado. |
|  | Intensidad energética (E/PIB) para cada rama industrial.   | Puede aproximarse con la intensidad energética a nivel nacional (Anexo 2 de esta Guía).  |
|  | Consumo unitario para equipo eficiente   | Normas, Programa <i>Energy Star</i> de Estados Unidos, Programas europeos de estándares de equipos industriales, ver Capítulo 6 de esta Guía   |
|  | Factores de emisión CO <sub>2</sub>  | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.  |
|  | Factores de emisión CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O   | PICC (2006b), Energía y Anexo 5 de esta Guía.  |
| Factor de emisión eléctrico CO <sub>2</sub>                      | Anexo 2 de esta Guía.  |  |
| Factores de emisión eléctrico CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O | Anexo 2 de esta Guía.  |  |

## VII.6 SECTOR TRANSPORTE

El sector transporte comprende diferentes modos: aviación, ferroviario, marítimo y autotransporte. Para cada uno ellos, existen a su vez, diferentes sub-modos, en particular para el autotransporte, que puede dividirse en: transporte privado, taxis, minibuses, vagonetas para transporte público, autobuses urbanos, autobuses inter-urbanos, camiones de carga menores y mayores a tres toneladas, tractocamiones y motocicletas.

Los modos de transporte marítimo, aéreo y ferroviario no deben contabilizarse en el inventario de emisiones estatal a menos que se dé el transporte inter o intraestatal. Por ejemplo, si se da la navegación fluvial (canal, río o lago interior) en un mismo estado, debe calcularse el consumo de combustible con datos locales.

### Autotransporte

#### Año base

El modelo para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero para el escenario base puede desagregarse de acuerdo al nivel de información que se tenga. A diferencia de otros sectores, en el autotransporte la metodología es diferente para las emisiones de CO<sub>2</sub> que para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En el primer caso debe estimarse el consumo de energía. En el segundo caso y dado que el factor de emisión está dado en g/km, solo es necesario conocer el número de kilómetros recorridos por cada tipo de vehículo en un año, y multiplicarlo por el número de vehículos de ese tipo en ese año. Matemáticamente, este cálculo puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$\text{CH}_4\text{au}_{t0} = \sum_{ij} V_{ijt} D_{it} \text{FECH}_{4itj} \quad 7.42$$

$$\text{N}_2\text{Oau}_{t0} = \sum_{ij} V_{ijt} D_{it} \text{FEN}_2\text{O}_{ij} \quad 7.43$$

Donde:

CH<sub>4</sub>au<sub>t</sub> y N<sub>2</sub>Oau<sub>t</sub> son las emisiones para el año t de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del autotransporte.

V<sub>ijt</sub> es el número de vehículos del tipo i que usan el combustible j en el año t

$D_{it}$  es la distancia promedio recorrida en un año por el tipo de vehículo  $i$  en el año  $t$

Cuando la distancia está en km, a la multiplicación de  $V \cdot D$  se le llama vehículo-kilómetro:  $V_{ijt}D_{it} = V\text{-km}_{ijt}$

$FE_{ij}$  es el factor de emisión en g/km del gas asociado al combustible  $j$  usado por el vehículo tipo  $i$  en el año  $t$ .

Los factores de emisión de estos gases dependen de la tecnología de control de la contaminación por lo que el factor de emisión varía dependiendo del año-vehículo o modelo.

En el caso de las emisiones de  $CO_2$ , la actividad está dada por la variable vehículo-km, es decir, el número total de vehículos de determinado tipo por los kilómetros promedio recorridos en un año por cada tipo de vehículo, mientras que la intensidad energética será el consumo de energía por kilómetro recorrido. Matemáticamente este cálculo se representa por la siguiente ecuación:

$$CO_2au_{to} = \sum_i \sum_j V\text{-km}_{ijto} E_{ijto} FE_{CO_2j} \quad 7.44$$

Donde:

$CO_2au_t$  son las emisiones de  $CO_2$  del autotransporte en el año  $t$ .

$V\text{-km}_{ijt}$  es el vehículo-kilómetro del auto tipo  $i$  que usa el combustible  $j$  para el año  $t$  (número de vehículos multiplicado por el km promedio recorrido al año por cada tipo de vehículo).

$E_{ijt}$  es el consumo de energía por km (joule/km) del auto tipo  $i$  que usa el combustible  $j$  para el año  $t$ .

$FE_{CO_2j}$  es el factor de emisión de  $CO_2$  asociado al combustible  $j$  en kg/TJ.

### Escenario base

Para estimar las emisiones del escenario base de  $CH_4$  y  $N_2O$ , puede mantenerse constante la distancia recorrida y el factor de emisión y variar sólo el número de vehículos en función del crecimiento del parque vehicular. Por su parte, para calcular

las emisiones de CO<sub>2</sub> para el escenario base, se pueden mantener constantes la intensidad energética y los kilómetros recorridos y variar sólo el número de vehículos.

El crecimiento del parque vehicular puede estimarse a partir del crecimiento tendencial para un determinado período de tiempo o calculando la tasa de ventas y la tasa de desecho (los vehículos que salen del parque). La tasa de ventas para cada estado se calcula a partir de las ventas de vehículos publicadas en el Anuario de la Industria Automotriz publicado en el portal electrónico del INEGI. La tasa de desecho debe estimarse para cada estado o puede aproximarse a través de un dato a nivel nacional. También existen algunas consultoras privadas que venden estas bases datos para cada estado, una de ellas es Melgar y asociados.

### Escenarios de mitigación

En este caso, la mitigación de gases de efecto invernadero puede obtenerse a través de tres mecanismos: el aumento en la eficiencia de un vehículo, la sustitución de un modo de transporte por otro y el cambio de combustible. Por ejemplo, la sustitución de transporte privado por transporte público de pasajeros o la sustitución de transporte de carga en tracto-camión por ferrocarril.

Para el caso del aumento en la eficiencia del mismo tipo de vehículo, la expresión matemática es la siguiente:

$$\text{CO}_2\text{Ta}_t = \sum_i \sum_j \text{V-km}_{ij\text{conv}_t} E_{ij\text{conv}_t} \text{FECO}_{2j} - \sum_i \sum_j \text{V-km}_{ij\text{eff}_t} E_{ij\text{eff}_t} \text{FECO}_{2j} \quad 7.45$$

Donde:

V-km<sub>ijconv<sub>t</sub></sub> es el vehículo-km del vehículo convencional del submodo de transporte i que usa el combustible j en el año t.

V-km<sub>ijeff<sub>t</sub></sub> es el vehículo-km del vehículo eficiente del submodo de transporte i que usa el combustible j en el año t.

E<sub>ijconv<sub>t</sub></sub> es el consumo de energía por kilómetro del vehículo convencional del submodo de transporte i que usa el combustible j en el año t.

$E_{ij\text{eff}_t}$  es el consumo de energía por kilómetro del vehículo eficiente del submodo de transporte  $i$  que usa el combustible  $j$  en el año  $t$ .

En el caso de sustitución de un submodo de transporte por otro, cambiará el V-km.

Para los otros gases, deberá calcularse de acuerdo con el factor de emisión dado en g/km.

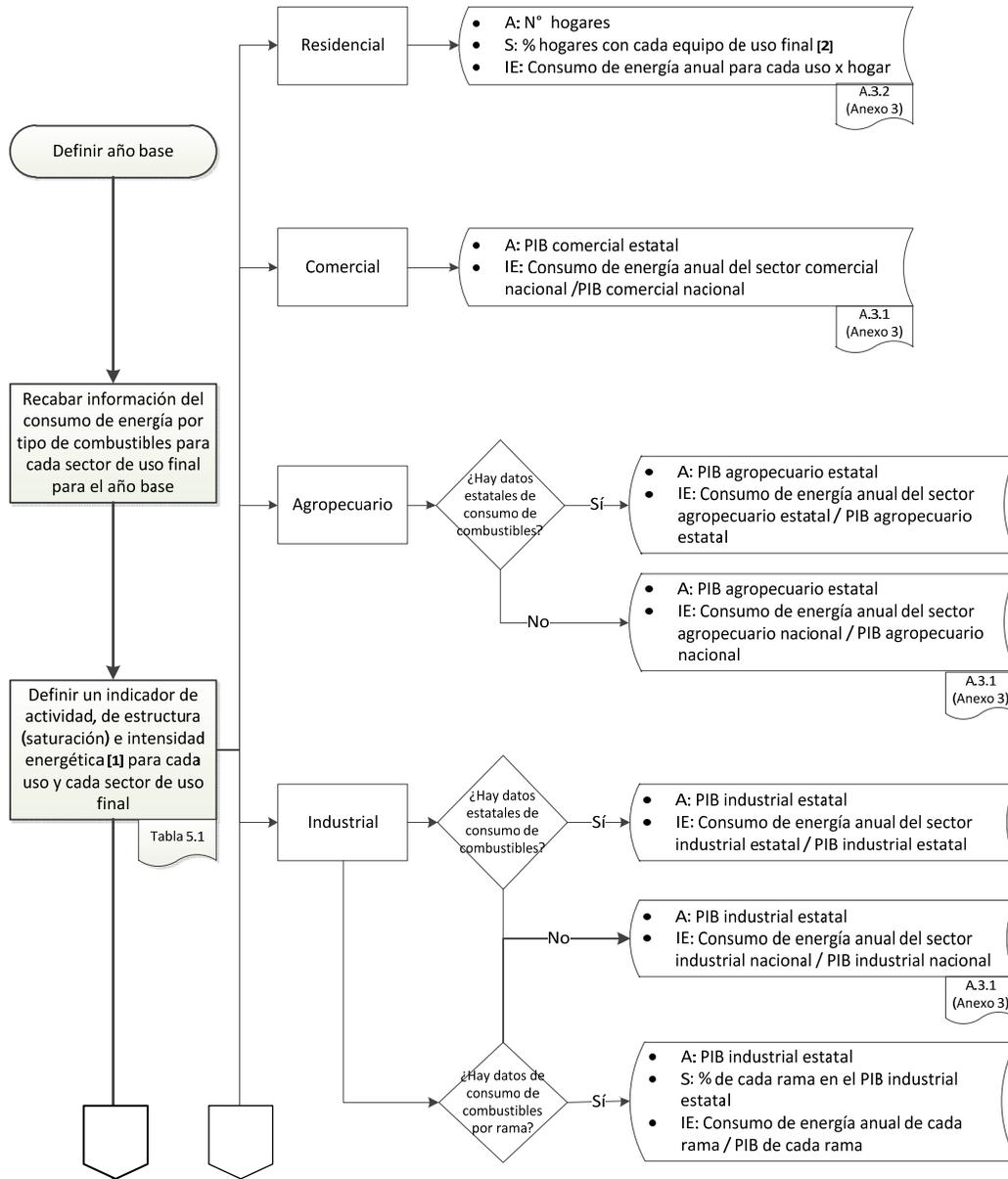
La Tabla 12 muestra la información necesaria para estimar los escenarios del sector transporte.

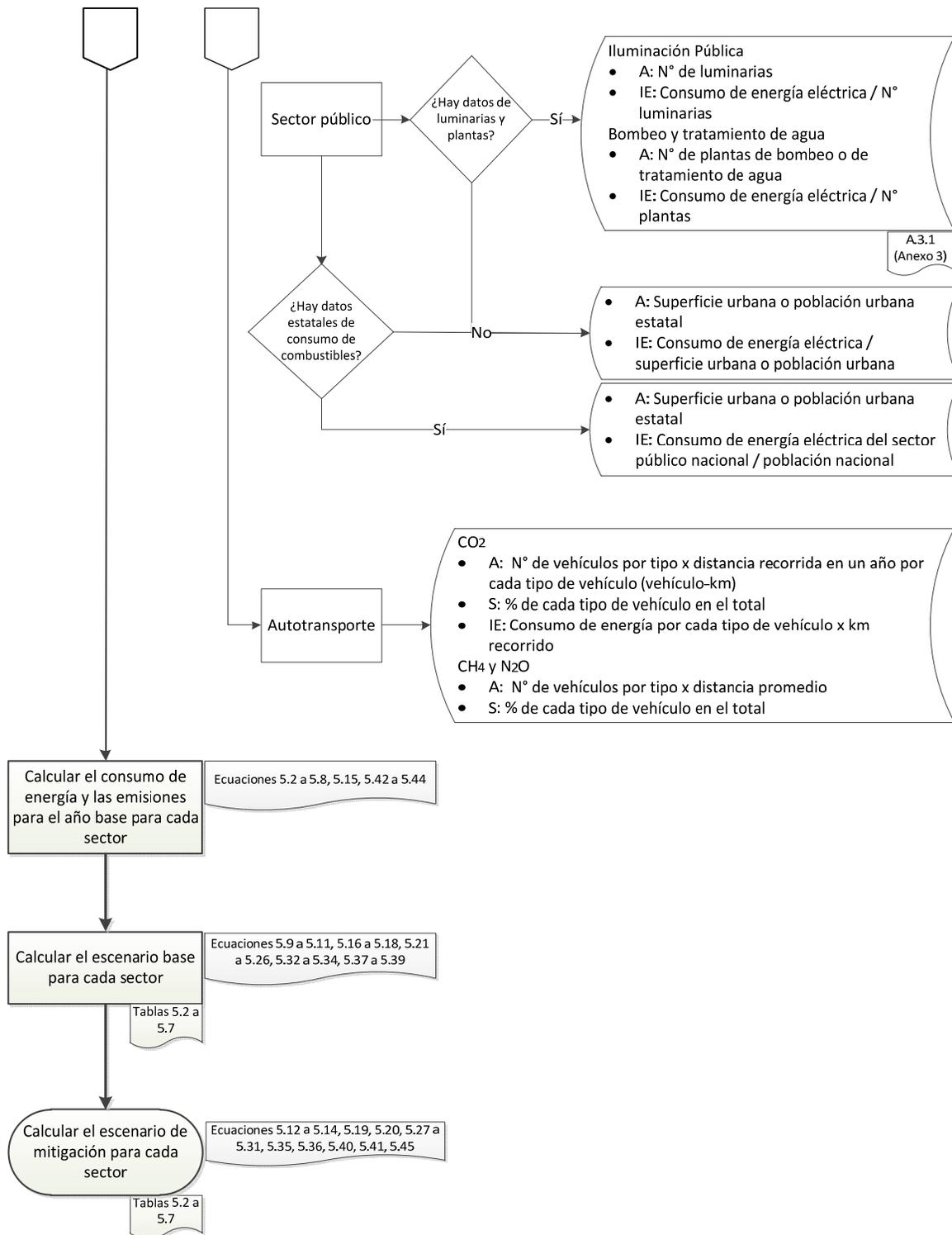
Tabla 12. Información mínima necesaria para elaborar escenarios del sub-sector autotransporte.

|          | Información   | Fuente  |
|----------|---|---|
| Opción 1 | Consumo de gasolina, diesel y GLP para carburación estatal.   | SENER. SIE  |
|          | Parque vehicular por submodo (auto particular, taxi, microbús, van, autobús, motocicleta, camión menor a tres toneladas, camión mayor a tres toneladas, tractocamión) por combustible por edad. | INEGI (total), información estatal  |
|          | Kilómetro recorrido al año por cada tipo de vehículo  | Información estatal   |
|          | Intenidad energética (E/km) por tipo de vehículo  | Información nacional (Anexo 3). BNE (poder calorífico).                         |
| Opción 2 | Consumo de gasolina, diesel y GLP para carburación estatal  | SENER. SIE  |
|          | Parque vehicular por submodo (auto particular, taxi, microbús, van, autobús, motocicleta, camión menor a tres toneladas, camión mayor a tres toneladas, tractocamión) por combustible por edad. | INEGI (total), información estatal  |
|          | Kilómetro recorrido al año por cada tipo de vehículo  | Estimación de acuerdo a datos existentes de ciudades o estados de la República. |
|          | Intenidad energética (E/km) por tipo de vehículo  | Información nacional (Anexo 3)<br>BNE (poder calorífico)                        |
|          | Factor de emisión CO <sub>2</sub>   | PICC (2006b)  |
|          | Factor de emisión CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O promedio   | PICC (2006b)  |

El diagrama que se presenta a continuación muestra la ruta a seguir para el cálculo de los diferentes escenarios para cada sector.

Figura 6. Cálculo de emisiones y de escenarios para la categoría de energía.





Elaboración propia.

[1] Los escenarios de emisión y mitigación se construyen a partir de cambios en estas variables.

[2] Estufa de gas (GN o GLP), queroseno y eléctrica, calentador de agua de gas (GN o GLP) o eléctrico, refrigerador, lavadora, aire acondicionado, etc. .

## **VIII. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PARA LA MITIGACIÓN DE GEI.**

### **VIII.1. INTERNACIONALES**

El principal instrumento internacional para la reducción de emisiones de GEI entre los países pertenecientes y no pertenecientes al Anexo 1, establecido en el protocolo de Kioto, es el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este mecanismo es un procedimiento en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio.

El propósito del Mecanismo de Desarrollo Limpio es, de acuerdo a lo establecido por el Artículo 12 del Protocolo de Kioto, ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sustentable y contribuir al objetivo último de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos contraídos en virtud del artículo 3 del Protocolo sobre la limitación y reducción de las emisiones de GEI.

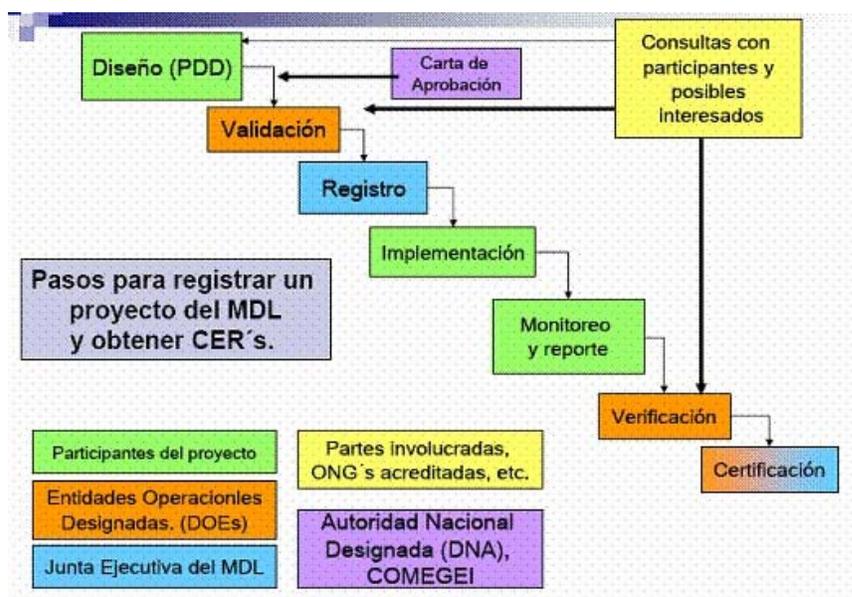
Formalmente, mientras que el Mecanismo de Desarrollo Limpio reduce el costo de cumplimiento de compromisos ante el Protocolo para países desarrollados, las economías en desarrollo se benefician del incremento en los flujos de capital de inversión para proyectos de mitigación y los resultados que estos ofrecen para las políticas de desarrollo sustentable (INE, 2011).

Para que un proyecto de mitigación de GEI sea aprobado a través del MDL debe pertenecer a los siguientes rubros: industrias energéticas (renovables/no renovables); distribución de energía; demanda de energía, industrias manufactureras, industrias químicas, construcción, transporte, minas / producción mineral, producción metalúrgica, emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, petróleo y gas natural), emisiones fugitivas de la producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre, uso de solventes, disposición y manejo de desechos; forestación y reforestación; agricultura. Además debe cumplir con las

condiciones de adicionalidad, de determinación de la línea base y de contribución al desarrollo sostenible del país, según lo establece el Artículo 12 del Protocolo de Kioto.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio es regulado y supervisado por el Consejo Ejecutivo de MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En la página de internet del MDL ([cdm.unfccc.int](http://cdm.unfccc.int)) pueden conocerse las características de los proyectos, reglas y metodologías aprobadas. La Figura 7 muestra los pasos que deben seguirse para que un proyecto MDL sea aprobado por la CMNUCC.

Figura 7. Pasos para la aprobación de un proyecto MDL



Fuente: INE (2011)

De acuerdo con el PICC (Barker et al., 2007) la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto sentaron un precedente significativo como medio para solucionar problemas ambientales internacionales a largo plazo, pero solamente constituyen los primeros pasos hacia la implementación de una estrategia de respuesta internacional para combatir el cambio climático. Los mayores logros del Protocolo de Kioto son la estimulación de un conjunto de políticas nacionales, la creación de un mercado internacional de carbono y el establecimiento de nuevos mecanismos institucionales. Todavía se necesita demostrar sus impactos económicos en los países

participantes. Los MDL, en particular, crearon una gran línea de canalización de proyectos y movilizaron considerables recursos financieros, pero se enfrenta a retos metodológicos relativos a la elaboración de líneas de base y adicionalidad. El protocolo además, estimuló el desarrollo de sistemas de negociación de emisiones pero aún no se implementa un sistema mundial. El Protocolo de Kioto en la actualidad está limitado por los reducidos límites de emisiones y tendrá un efecto limitado en las concentraciones atmosféricas. Sería más eficaz si al primer período de compromiso lo siguieran mediadas para lograr reducciones más profundas y la implementación de instrumentos políticos que cubran una porción mayor de emisiones mundiales (acuerdo alto, pruebas abundantes).

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 UNFCCC (<http://unfccc.int>).

Uno de los acuerdos que tiene relevancia para esta guía son las llamadas NAMAs (Nationally Appropriate Mitigation Actions), que son un mecanismo voluntario para los países en desarrollo, establecido por la CMNUCC en su reunión de 2007 en Bali, y ampliada en las reuniones de Copenhague y de Cancún. Aun no se definen las características específicas de estas acciones pero se están buscando mecanismos y metodologías que permitan adquirir certificados de carbono por el desarrollo de proyectos dentro de estas acciones. Se pueden consultar los acuerdos de Bali, Copenhague y Cancún y dar seguimiento a los nuevos acuerdos a través del sitio de internet de la Convención (<http://unfccc.int/2860.php>)

Los nuevos mecanismos dentro de la CMNUCC se estarán definiendo en el corto plazo, por esta razón, es necesario que las autoridades permanezcan atentas a los esquemas internacionales que se irán desarrollando.

## Programa REDD

REDD es una iniciativa de colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) en países en desarrollo. El Programa fue lanzado en septiembre de 2008 para ayudar a los países en desarrollo a preparar y aplicar programas nacionales de REDD + estrategias, y se basa en el poder de convocatoria y la experiencia de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), y del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y para el Medio Ambiente (PNUMA).

REDD es formalmente un esfuerzo para crear un valor financiero para el carbono almacenado en los bosques, que ofrece incentivos para los países en desarrollo para reducir las emisiones de las tierras boscosas con el objetivo de invertir en rutas de baja emisión de carbono para el desarrollo sostenible. " + " va más allá de la deforestación y la degradación forestal, e incluye la función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y aumento de las reservas forestales de carbono. Se trata de incluir REDD + en un régimen post-Kioto.

El programa cuenta actualmente con 29 países asociados que abarca África, Asia-Pacífico y América Latina, de los cuales 13 están recibiendo apoyo a las actividades del Programa Nacional. Estos 13 países son: Bolivia, Camboya, República Democrática del Congo (RDC), Ecuador, Indonesia, Panamá, Papua Nueva Guinea, Paraguay, Filipinas, Islas Salomón, Tanzania, Viet Nam y Zambia. Hasta la fecha, se han aprobado un total de 55,4 millones dólares para los nueve países piloto y cuatro nuevos países (Camboya, Ecuador, Filipinas y las Islas Salomón). Estos fondos ayudan a apoyar el desarrollo y aplicación de estrategias nacionales REDD +.

Los esquemas de REDD + pueden encontrarse en el portal de PNUD o PNUMA.

### **VIII.2 NACIONALES**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) especifica la competencia de la federación, de las entidades federativas y los municipios en los temas

ambientales. En el Capítulo III de esta guía se hace un recuento de éstas áreas de influencia. En el presente capítulo, se puede encontrar en cambio, un repaso somero de los instrumentos de las políticas ambientales, de eficiencia energética y fuentes renovables de energía, que atienden la mitigación de GEI en sus diferentes categorías. Asimismo, se presentan algunos instrumentos específicos, diseñados para la mitigación de GEI a nivel internacional.

La propia LGEEPA señala que son instrumentos de la política ambiental: la planeación, el ordenamiento ecológico del territorio, instrumentos económicos, regulación ambiental de los asentamientos humanos, la evaluación de impacto ambiental, las Normas Oficiales, la autorregulación y auditorías ambientales, la investigación y educación, la información y vigilancia.

Cada estado y el Distrito Federal, tienen sus propias Leyes o regulaciones ambientales en las cuales los instrumentos de política ambiental son en general, equivalentes a los de la LGEEPA, pero en el ámbito local. Todos los instrumentos mencionados en el párrafo anterior pueden ayudar a la mitigación de los GEI. La creatividad de las autoridades locales, aunado a la búsqueda de políticas que promuevan el desarrollo sustentable de sus comunidades vinculado con la disminución de GEI, será lo que permitirá la continuidad y éxito de los instrumentos aplicados.

Por otro lado, es importante reconocer que de acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo la gestión ambiental no puede abordarse al margen de otras preocupaciones relacionadas con el desarrollo. Para conseguir resultados significativos y duraderos, debe integrarse con esfuerzos para reducir la pobreza y conseguir un desarrollo sostenible (PNUD, 2003).

Mejorar la gestión ambiental precisa de cambios políticos e institucionales que traspasan los sectores y se encuentran en gran medida fuera del control de las instituciones medioambientales (como cambios en la gobernabilidad, políticas económicas y sociales nacionales y políticas internacionales y de los países ricos). Asimismo, los problemas ambientales deben gestionarse de forma activa como parte del proceso de crecimiento. No

se conseguirán mejoras ambientales hasta que no se produzca un aumento de los ingresos que aporte mayores recursos para la protección del ambiente (PNUD, 2003).

Reconociendo estas limitaciones, pueden identificarse y promoverse, desde la autoridad estatal y en particular la ambiental, políticas e instrumentos que promuevan mejoras ambientales en el marco de un futuro más libre de carbono. A nivel federal y estatal, existe una historia reciente pero sumamente rica, de instrumentos de política ambiental que se han impulsado para preservar los recursos naturales y el ambiente. Muy pocas de ellas están orientadas a la mitigación de GEI, sin embargo, en muchos casos, al regular actividades que impactan al ambiente e incentivar aquellas que lo restauran y conservan, se obtienen beneficios de abatimiento de emisiones de GEI o aumento de reservorios y captura de carbono. Existe una vasta bibliografía que analiza los instrumentos ambientales y evalúa algunas de sus instrumentaciones en México. A continuación se hace un somero recuento de algunos instrumentos de política ambiental, como la planificación, instrumentos regulatorios y económicos, acuerdos voluntarios, la protección ecológica de territorios, la educación, la investigación y el desarrollo.

La planificación se traduce en diversos instrumentos como leyes, programas y acciones gubernamentales. Si la planificación se construye con la participación de la ciudadanía se traduce en políticas públicas. Ordenamientos de planificación como los territoriales o ecológicos son de suma importancia en la disminución de los impactos ambientales y pueden incluir componentes de disminución de GEI. Programas sectoriales como los de desarrollo urbano, transporte, vivienda, forestales, etc., pueden tener también, entre sus objetivos centrales los temas ambientales y con ellos, la reducción de emisiones de GEI. Dentro del marco de la planificación ambiental estatal orientado directamente al cambio climático destacan por supuesto, los Programas Estatales de Acción Climática.

Los instrumentos regulatorios pueden establecerse desde el ámbito legislativo (leyes), administrativo (reglamentos o normas) y/o judicial (juicio civil o penal) o en los tres. En general, la aplicación de medidas regulatorias vincula tres partes, la definición de límites permitidos, la vigilancia de su cumplimiento y la aplicación de sanciones en el caso de no acatamiento. Por esta razón, la regulación ambiental precisa instituciones ambientales

sólidas, así como un Estado de derecho efectivo desde la perspectiva de la autoridad y del ciudadano (Provencio, 2005).

Ejemplos de normas federales que influyen en la disminución de GEI son las normas de eficiencia energética. A nivel local destaca la norma de calentamiento solar en el Distrito Federal, o el programa de verificación vehicular de la Zona Metropolitana del Valle de México que además de establecer limitaciones en las emisiones de contaminantes locales, establece consideraciones sobre el rendimiento vehicular (kilómetro por litro de los vehículos), lo cual influye en la disminución del consumo de gasolina y con ello de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Otro instrumento importante por su carácter preventivo es la manifestación de impacto ambiental, la cual puede incluir medidas de reducción de emisiones de GEI es sus medidas de mitigación.

Los instrumentos económicos consisten en promover incentivos o “castigos” económicos que influyan en la mejora ambiental. En términos de la economía ambiental, los instrumentos económicos implican insertar en el sistema de precios los costos asociados a la contaminación y al deterioro de los ecosistemas (internalizar las externalidades), información que por lo general el mercado falla en generar de manera espontánea o automática. Por el otro lado, los instrumentos económicos equivalen a confrontar a los actores económicos con la factura que deben de pagar por el uso de bienes y servicios ambientales sobre los cuales no tienen, en principio, derecho alguno de propiedad (Quadri, 1997).

Los instrumentos económicos se pueden organizar en tres tipos: a) aquellos que se han traducido en herramientas de política fiscal y que generalmente castigan a los contaminadores; b) los subsidios acoplados a la producción; y, c) los pagos para premiar el comportamiento ambientalmente deseable (Pérez-Calderón, 2010). La LGEEPA establece en su artículo 22: “Se consideran instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos ambientales que generen sus actividades económicas, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el ambiente”.

“Se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental. En ningún caso, estos instrumentos se establecerán con fines exclusivamente recaudatorios”.

“Son instrumentos financieros los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos y los fideicomisos, cuando sus objetivos estén dirigidos a la preservación, protección, restauración o aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el ambiente, así como al financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica para la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente”.

“Son instrumentos de mercado las concesiones, autorizaciones, licencias y permisos que corresponden a volúmenes preestablecidos de emisiones de contaminantes en el aire, agua o suelo, o bien, que establecen los límites de aprovechamiento de recursos naturales, o de construcción en áreas naturales protegidas o en zonas cuya preservación y protección se considere relevante desde el punto de vista ambiental”.

Ejemplos de instrumentos económicos a nivel nacional son los Créditos preferenciales y beneficios fiscales para actividades sustentables, el Programa de Fomento para Actividades Sustentables (Profasus). Los incentivos fiscales y tarifas especiales para la promoción de fuentes renovables de energía y por compra de equipos eficientes de energía.

La retribución o pago por servicios ambientales es un instrumento económico que brinda a los dueños de propiedades con alto valor ambiental, recursos económicos para la conservación. La Ciudad de Jalapa, Veracruz fue de las primeras en impulsar una política ambiental de este tipo, cobrando a los usuarios del servicio del agua un pago por servicios ambientales y entregándolo a los propietarios sociales de tierras con valor ambiental por la recarga de acuíferos. En el DF existe la Ley para la retribución por Servicios Ambientales y a nivel federal, un conjunto de programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), que incluyen pagos por servicios hidrológicos, conservación de la biodiversidad, captura de carbono y agro-forestería, con el objetivo de proteger los ecosistemas forestales y ofrecer alternativas a los gestores del bosque.

Los acuerdos voluntarios consisten en que los productores, empresas u organizaciones empresariales desarrollen procesos voluntarios de autorregulación ambiental, a través de los cuales mejoren su desempeño ambiental, respetando la legislación y normatividad vigente en la materia y se comprometan a superar o cumplir mayores niveles, metas o beneficios en materia de protección ambiental. Un elemento a considerar en la autorregulación puede ser la mitigación de emisiones de GEI.

La protección ambiental o ecológica de territorios, se traduce en general en el establecimiento de áreas naturales protegidas con el objeto de preservar ambientes naturales representativos de regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas, salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, proporcionar la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio, generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales, proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas, mediante zonas forestales en montañas donde se originen torrentes, proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacionales y de los pueblos indígenas. La conservación, restauración y uso sustentable de los bosques se traduce en conservación de los reservorios y aumento del secuestro de carbono.

La educación ambiental acerca del cambio climático y la mitigación de GEI, así como la promoción de la investigación y el desarrollo científico y tecnológico son elementos sustantivos para un desarrollo más libre de carbono. En la Tabla 13 pueden encontrarse algunos instrumentos de política que pueden aplicar los estados para las categorías de energía, agricultura y uso de suelo y residuos.

La Tabla 14 resume lo que plantea en su cuarto reporte el PICC (Barker et al., 2007) como instrumentos de los gobiernos para la Mitigación de GEI. Su aplicación a nivel de las entidades federativas depende obviamente de la legislación y las atribuciones. En el Anexo 5 de esta guía se presentan algunos programas federales de utilidad para los estados.

Tabla 13. Ejemplos de políticas que disminuyen la emisión de GEI en la categoría de energía

| Categoría/Sector                | Instrumentos   | Ejemplos  |
|---------------------------------|--|---|
| Residencial, comercial, público | Regulación ambiental que establezcan estándares de eficiencia locales para equipos domésticos  | Se ha hecho en W.C. para regulación de agua, puede promoverse en otros quipos   |
|                                 | Regulación ambiental para uso de calentadores solares para calentamiento de agua   | Norma de calentadores en el D.F.  |
|                                 | Incentivos económicos a través de reducción de impuestos y derechos o apoyo económico para actividades empresariales que disminuyan emisiones de GEI o promuevan el secuestro y captura. | Disminución de impuesto predial por el uso de tecnologías con fuentes renovables de energía (solar pasiva y uso de paneles fotovoltaicos) |
|                                 | Etiquetas informativas de emisiones de GEI para productos  | Etiquetas informativas en equipos de uso eficiente de la energía o en productos industriales que emitan emisiones de GEI (solventes).     |
| Industrial                      | Reducción de impuestos y derechos locales por eficiencia energética  | Disminución de impuestos locales a las industrias o empresas con grandes emisiones  |
|                                 | Campañas informativas  | Apoyo en la difusión de empresas denominadas ESCOS  |
|                                 | Regulaciones para mayor uso de fuentes renovables  | Regulaciones de porcentajes mínimos de uso de calentadores solares para precalentamiento de agua  |
| Transporte                      | Regulaciones que limitan la circulación del transporte privado   | Restricción de circulación por días u horarios.<br><br>Restricción de circulación en zonas de la Ciudad.                                  |
|                                 | Regulación como normas ambientales o restricciones para límite del rendimiento vehicular para transporte público y privado   | Casos como regulación para taxis en el D.F. (10 km/lt como mínimo)  |
|                                 |  | Programa de Verificación  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>Incentivos económicos a través de reducción de impuestos y derechos o apoyo económico o castigo con mayor impuesto a vehículos con menor rendimiento</p> <p>Promoción de transporte público de Autobuses Rápidos como Metrobús.</p> <p>Promoción de biocombustibles</p> | <p>vehicular en la ZMVM que incluye rendimientos vehiculares</p> <p>La política de eliminación de la tenencia vehicular alienta el uso del transporte privado y por tanto promueven mayor emisión de GEI. Políticas de incentivos a auto híbrido por ejemplo a través de disminución de pago de derechos.</p> <p>Ejemplos en diversas ciudades del país</p> <p>Hay casos documentados de aceite vegetal usado en comercios transformado en biodiesel para transporte público</p> |
|--|--|--|

Tabla 14. Instrumentos de política ambiental y criterios de evaluación (Tabla 13.1 PICC (Barker et al., 2007))

| Instrumento                     | Criterios  |   |   |  |
|---------------------------------|--|---|---|--|
|                                 | Eficacia ambiental   | Rentabilidad  | Cumplimiento con consideraciones de distribución  | Viabilidad institucional   |
| Regulaciones y normas           | Establecen de forma directa los niveles de emisiones, aunque sujetas a excepciones. Depende de plazos y acatamiento.   | Depende del diseño: la aplicación uniforme a menudo provoca mayores costos de acatamiento.                          | Depende del nivel de desempeño: desventajas para los actores nuevos/pequeños                | En países con mercados débiles, depende de la capacidad técnica de los reguladores.                                |
| Impuestos y gravámenes          | Depende de la capacidad de generar cambios de comportamiento.  | Buena si es de amplia aplicación. Representan altos costos de administración en países con debilidad institucional. | Regresivo; puede mejorar con el reciclaje de ingresos.                                      | Políticamente impopulares: dificultad para ejecutar en países con instituciones débiles.                           |
| Permisos negociables            | Depende de las emisiones máximas, de la participación y del acatamiento  | Disminuye con participación limitada y pocos sectores.  | Depende de la distribución de permisos iniciales. Puede ser difícil para pequeños emisores. | Necesita mercados con buen funcionamiento e instituciones complementarias.   |
| Acuerdos voluntarios            | Depende del diseño de programas: objetivos claros, un escenario de línea base, compromiso de terceras partes en el diseño, revisión y condiciones de supervisión.  | Depende de la flexibilidad y dimensión de los incentivos gubernamentales, recompensas y sanciones.                  | Se benefician sólo los participantes.   | Políticamente populares. Necesita un número considerable de personal administrativo.                               |
| Subvenciones y otros incentivos | Depende del diseño: son menos certeros que las regulaciones/normas.  | Depende del nivel y diseño. Puede distorsionar el mercado.  | Se benefician sólo participantes seleccionados; probablemente algunos que no lo necesiten.  | Popular entre los receptores; oposición potencial de los intereses creados. Difíciles de eliminar gradualmente     |
| Investigación y desarrollo      | Depende de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- fondos constantes durante el desarrollo de las tecnologías, y</li> <li>- de políticas de difusión.</li> </ul> A largo plazo puede dar altos beneficios. | Depende del diseño y el grado de riesgo.  | Al principio beneficia a participantes. Facilita el desvío de fondos.                       | Necesita muchas decisiones separadas. Depende de la capacidad de investigación y del financiamiento a largo plazo. |
| Políticas de                    | Depende del uso que den  | Potencialmente de   | Puede que sea   | Depende de la  |

|             |   |                                      |   |                                      |
|-------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| información | los usuarios y consumidores a la información. Más eficaz si se combina con otras políticas. | bajo coste, pero depende del diseño. | menos eficaz para grupos (por ejemplo, de bajos ingresos) que la falta de información | cooperación e integración de grupos. |
|-------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|

Notas:

Las evaluaciones se basan en el supuesto de que los instrumentos son representativos de mejores prácticas en vez de perfectos desde el punto de vista teórico. Esta evaluación se realiza con información proveniente de experiencias y de literatura de países desarrollados, ya que se dispone de pocos artículos revisados por expertos sobre la eficacia de los instrumentos en otros países. El nivel de aplicación en países, sectores y circunstancias específicos – principalmente países en desarrollo y economías en transición –variará. Si los instrumentos se combinan estratégicamente y se adaptan a las circunstancias locales, pueden intensificar la rentabilidad y eficacia ambiental.

- Medidas y normas reguladoras: generalmente proporcionan seguridad al ambiente. Se usan cuando la falta de información u otras barreras impiden que las empresas y los consumidores respondan a las señales de precios. Las normas reguladoras no siempre proporcionan a los contaminantes incentivos para desarrollar nuevas tecnologías a fin de reducir la contaminación, pero existen algunos ejemplos donde las normas reguladoras han estimulado la innovación tecnológica. Las normas son práctica común en el sector de edificios y existe una innovación importante. Aunque se aprobaron pocas normas reguladoras para reducir las emisiones de GEI, redijeron estos gases como un beneficio conjunto.
- Impuestos y gravámenes (que se pueden aplicar al carbono o a todos los GEI). Muestran una alta eficacia de costos, ya que proporcionan seguridad sobre el costo marginal del control de la contaminación. No pueden garantizar un nivel específico de emisiones, pero conceptualmente los impuestos se pueden elaborar para que sean eficientes con el ambiente. Políticamente, es difícil implantar y ajustar impuestos. Al igual que las regulaciones, su eficacia ambiental depende de su rigidez. Al igual que la mayoría de los instrumentos políticos, se deben evitar los efectos adversos.
- Permisos negociables: constituyen un instrumento económico muy popular para controlar los contaminantes tradicionales y los GEI a escala sectorial, nacional e internacional. El volumen de emisiones concedido determina el precio del carbono y la eficacia ambiental de este instrumento, mientras que la distribución de permisos implica competencia. La experiencia indica que las condiciones bancarias suministran flexibilidad temporal considerable y que la conformidad de estipulaciones se debe diseñar cuidadosamente, si se pretende contar con un sistema eficiente de permisos. La incertidumbre en el precio de las reducciones de emisiones bajo un sistema negociable dificulta, a priori, la estimación del costo total de alcanzar los objetivos de reducción.
- Acuerdos voluntarios entre la industria y los gobiernos y las campañas de información son atractivos políticos, aumentan la vigilancia entre las partes y desempeñan una función en la evolución de muchas políticas nacionales. La mayoría de los acuerdos voluntarios no ha alcanzado reducciones considerables de emisiones por encima de lo usual. Sin embargo, algunos acuerdos en varios países aceleran la aplicación de la mejor tecnología disponible y provocan

reducciones de emisiones medibles. Los factores de éxito incluyen objetivos claros, un escenario de línea base, compromiso de terceras partes en el diseño y revisión y criterios formales para la supervisión.

- Acciones voluntarias: Las empresas, gobiernos nacionales, ONG y grupos civiles adoptan una serie de acciones voluntarias, independientemente de las autoridades gubernamentales, que podrían limitar las emisiones de GEI, estimular las políticas de innovación y fomentar la aplicación de nuevas tecnologías. Por sí solas tienen un impacto limitado a nivel nacional o regional.
- Incentivos financieros (subvenciones y créditos de impuestos) los gobiernos los usan con frecuencia para estimular la difusión de nuevas tecnologías que emiten menos GEI. Si bien los costos económicos de tales programas son a menudo más altos que los costos de los instrumentos mencionados anteriormente, a menudo son importantes para eliminar las barreras que impiden la entrada de nuevas tecnologías. Al igual que otras políticas, los incentivos se deben diseñar con cuidado para evitar los efectos adversos. Las subvenciones directas e indirectas por el uso de combustibles fósiles en la agricultura se continúan aplicando en muchos países, aunque los del carbón disminuyeron durante el último decenio en muchos países de OCDE y en algunos países en desarrollo.
- Apoyo gubernamental para la investigación y desarrollo: es un incentivo que se puede convertir en un instrumento importante para asegurar la disponibilidad de las tecnologías con bajas emisiones de GEI. Sin embargo, los fondos de muchos programas de investigación energética descendieron después de la crisis petrolera en el decenio de 1970 y se mantienen constantes, aún después de ratificar la CMCC. Se necesitan inversiones adicionales en y políticas para la I+D para asegurar que las tecnologías estén listas para la comercialización a fin de estabilizar los GEI en la atmósfera, de conjunto con instrumentos económicos y reguladores para promover su aplicación y difusión.
- Instrumentos de información: pueden afectar de manera positiva la calidad ambiental al permitir que el consumidor tenga mejor información sobre las opciones. Existen muy pocas pruebas sobre la reducción de emisiones mediante la disposición de información, pero puede mejorar la eficacia de otras políticas.

## **IX. TECNOLOGÍAS Y MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

El presente capítulo resume diversas opciones tecnológicas empleadas para la reducción de emisiones de GEI. El capítulo sólo presenta algunos ejemplos. La variedad tecnológica es mucho más amplia. Las fuentes de información principales para este resumen son las Perspectivas tecnológicas en energía (Energy Technology Perspectives) de la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2006, 2008 y 2010), el último reporte del PICC (Sims et al., 2007; Kahn Ribeiro et al., 2007; Levine et al., 2007; Bernstein et al., 2007; Smith et al., 2007; Nabuurs et al., 2007; Bogner et al., 2007) además de otras fuentes de información que se citan en cada sector.

### **IX.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA**

#### **Hidroeléctrica**

Es la fuente de electricidad renovable más común. Tiene la ventaja de que se puede ajustar rápidamente y con flexibilidad a los cambios repentinos de carga. Los embalses sirven como un medio de almacenamiento de energía y por lo tanto, desempeñan un papel importante para ayudar a cubrir las cargas máximas o pérdidas repentinas de potencia de otras fuentes. En general, la energía hidroeléctrica no produce emisiones ni residuos. El costo inicial de las hidroeléctricas es relativamente alto pero debido a su vida útil muy larga, una vez que los costos de construcción son objeto de amortización, la electricidad que se produce tiene costos muy reducidos.

La energía hidroeléctrica se divide en pequeños y grandes sistemas. El punto de corte está entre los 10 MW y 50 MW o incluso llega a los 80 MW, dependiendo del país. Los sistemas pequeños son ambientalmente más benignos pues no alteran el caudal de los ríos. No requieren de presas. Ofrecen una alternativa a los generadores de diesel en las zonas rurales. Las grandes centrales hidroeléctricas pueden ser más controvertidas, debido a que alteran la disponibilidad de agua río abajo, pueden causar el traslado de poblaciones y tienen un impacto significativo en los ecosistemas existentes. La energía hidroeléctrica

también es susceptible a limitaciones derivadas del cambio climático, debido al cambio en la precipitación. Los esfuerzos para mejorar la tecnología de hidroeléctrica se centran principalmente en la mejora de la eficiencia y sostenibilidad. Por ejemplo, la remodelación de las instalaciones existentes con turbinas modernas a menudo ofrece una forma relativamente barata para aumentar la capacidad de las hidroeléctricas existentes.

### **Utilización de bioenergía para generación eléctrica**

La bioenergía es un recurso renovable que puede ser utilizado en los diferentes usos de la energía final, es decir, para producir electricidad, calor o combustibles para el sector del transporte. Las materias primas de la bioenergía incluyen biomasa sólida, desechos de madera, residuos agrícolas, los desechos de la industria de la celulosa y papel, cultivos energéticos, biogás, componentes biodegradables de residuos sólidos municipales, los biocombustibles líquidos y gases producidos por drenajes.

Las tecnologías de conversión típica para electricidad son combustión, combustión con carbón, gasificación y digestión anaerobia. Para plantas de vapor pequeñas de 5 MW a 10 MW, se han conseguido eficiencias de alrededor del 25%. Para plantas más grandes de al menos 50 MW se pueden lograr eficiencias de más de 30% en el modo de cogeneración y alrededor del 40% en modo de sólo electricidad. Para pequeñas aplicaciones hay otras opciones, incluyendo el ciclo orgánico Rankine (ORC) que utiliza el petróleo como el fluido de trabajo en lugar de agua. Otra opción, aunque no todavía comercialmente viable, es utilizar un motor Stirling exterior.

La co-combustión de biomasa con carbón es cada vez más popular, ya que ofrece reducciones de CO<sub>2</sub> y contaminantes locales sin requerir la modificación de plantas de carbón existentes y con sólo una pequeña reducción en la eficiencia de la planta. La co-combustión también puede añadir valor económico a residuos agrícolas o forestales que normalmente se queman. Los países en desarrollo pueden utilizar co-combustión como una opción de bajo costo para reducir sus emisiones. Por otro lado, la biomasa, como el carbón, puede ser gasificada. El gas resultante puede mover un motor, producir vapor o utilizarse en

una turbina de gas para producir electricidad. Esta tecnología se utiliza, por ejemplo, con los residuos de la agricultura y la industria de la celulosa y el papel.

La digestión anaeróbica es otra forma de convertir residuos orgánicos en un biogás, principalmente metano. El gas puede usarse para mover un motor o para producir electricidad. Esta tecnología es particularmente valiosa en algunos países en desarrollo para la electrificación rural en pequeña escala.

Esfuerzos de mejora de la tecnología de biomasa se centran principalmente en la mejora de la confiabilidad, la viabilidad económica y la eficiencia de los sistemas de gasificación. Otros objetivos incluyen la mejora de la eficacia, aumentar los rendimientos de materias primas y la optimización de las cadenas de producción y logística.

### **Concentradores solares**

Los sistemas de concentradores solares utilizan la concentración de radiación solar como fuente de energía de alta temperatura para producir energía eléctrica y calor o para producir reacciones químicas.

Una planta CSP (*concentrating solar power*) se compone de un campo de colectores solares, de receptores y un bloque de potencia donde el calor se transforma para producir electricidad. En algunos casos las plantas CSP incorporan dispositivos de almacenamiento de calor o sistemas de respaldo que utilizan combustibles fósiles. La utilización de concentradores solares requiere de lugares despejados y de alta insolación debido a que utilizan energía solar directa. En la práctica esto significa que estas plantas son más efectivas en áreas como el norte de África, el Medio Oriente, África meridional, oeste de la India, al sur oeste de Estados Unidos, México, países de Asia central, Australia y algunas partes de América del Sur.

Actualmente hay dos principales tecnologías de CSP. Las de reflectores que siguen al sol a lo largo de un eje, o las que siguen al sol a lo largo de dos ejes. La primera es la tecnología más madura y consiste en que la radiación solar se concentra en tuberías que contienen aceites sintéticos que actúan como un fluido de transferencia de calor, el cual es distribuido por tuberías que pasan a través de intercambiadores de calor que pre-calienta agua, la

evapora y luego sobrecalienta. El vapor sobrecalentado mueve una turbina, que impulsa un generador eléctrico. Algunas plantas recientes tienen varias horas de capacidad de almacenamiento, y la mayoría de las plantas existentes utilizan algunos combustibles como un respaldo de seguridad.

La tecnología de concentradores solares está aun en desarrollo. Se pueden esperar mejoras en todos los aspectos como espejos, receptores, fluidos de trabajo, sistemas de enfriamiento, sistemas de control automático y mantenimiento. Por otro lado, el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de calor, daría a esta tecnología mayores posibilidades, incluso para operar en la hora de demanda máxima.

### **Solar fotovoltaica**

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos de material semiconductor que convierten energía solar en energía eléctrica de corriente directa. Las celdas fotovoltaicas se interconectan para formar paneles de capacidades de hasta de cientos de watts. Estos sistemas pueden ser utilizados con conexión o sin conexión a la red. Los sistemas que no tienen conexión a la red requieren baterías para almacenar la electricidad y ser usada durante la oscuridad para iluminación y otros usos. Su uso es principalmente para comunidades que no tienen conexión a la red eléctrica. Los sistemas que se usan con conexión a la red han ido ganando terreno para uso de los sectores residencial y comercial. Estos sistemas tienen la capacidad de proveer electricidad al usuario y con un convertidor a corriente alterna, proveer electricidad a la red. Los usuarios pueden entonces vender electricidad a la empresa eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos comerciales pueden dividirse en dos grupos: los de silicio cristalino y los de filamento delgado. Están emergiendo sin embargo, las llamadas celdas solares orgánicas con un potencial importante para reducir costos y aumentar rendimientos.

### **Viento**

La energía eléctrica generada por viento es el segunda mayor contribuyente a la electricidad renovable después de la hidroelectricidad. Las turbinas más modernas que pueden ser

conectadas a la red eléctrica tienen una capacidad promedio de aproximadamente 1.6 MW. Esta forma de generación eléctrica extrae energía del viento por medio de un rotor horizontal ceñido a una torre, con cuchillas que pueden controlar la velocidad de rotación. Las turbinas eólicas modernas pueden instalarse en el mar en aguas someras, y deben ser protegidas contra la corrosión.

Las turbinas eólicas operan con velocidades del viento que van de alrededor de 15 km/h, a 90 km/h. La generación eléctrica varía conforme cambia la velocidad del viento. Cuando la generación eléctrica por viento en un sistema llega a proveer más del 10%, en general se requiere mayor flexibilidad en el despacho de carga, como otras plantas de generación que puedan entrar rápidamente en operación, repuestas demanda-oferta, interconexiones e incluso almacenamiento.

En el pasado reciente, las mejoras tecnológicas se centraron principalmente en aumentar la escala de turbinas, que representa también una forma de reducción de los costos. Las turbinas más modernas llegan a tener una capacidad de 7 MW e incluso turbinas de mayor capacidad están en desarrollo. Hacia el futuro la investigación se orienta al desarrollo de materiales con mayor dureza que permitan turbinas más grandes, la mejora en la captura de energía por el rotor, particularmente a bajas velocidades. Asimismo la reducción de costos de operación y mantenimiento en las turbinas colocadas en el mar, así como mejoras en el diseño y la tecnología de transmisión y el desarrollo de tecnologías incluyendo matrices inteligentes que aumenten la flexibilidad general de sistemas de energía.

### **Geotermia**

La energía geotérmica no es más que el calor extraído de la tierra. Se puede utilizar para varios fines energéticos. La generación de electricidad que utiliza la energía geotérmica requiere de calor a alta temperatura disponible en regiones tectónicamente activas como Indonesia, Filipinas, Japón, Nueva Zelanda, México, América Central y la costa oeste de los Estados Unidos, Islandia y África oriental.

La energía geotérmica es independiente de la temporada y es inmune a los efectos del clima y los impactos del cambio climático. Por lo tanto, es una fuente confiable para la base de la

curva de carga. La energía geo-termoeléctrica puede ser producida con plantas de vapor, ciclo dual, plantas o por sistemas geotérmicos mejorados.

Las mejoras tecnológicas se orientan a métodos de estimaciones más precisos para descubrir recursos potenciales, mejoras en la tecnología de perforación así como métodos y equipos que puedan operar a más altas temperaturas y presiones al interior del pozo, bombas más confiables y herramientas de registro, mejores métodos para la creación de embalses de profundidad, y mejor control o mitigación de sismicidad inducida.

### Océano

Las tecnologías de generación eléctrica que utilizan energía de los océanos están en un nivel de menor desarrollo comparado con las otras tecnologías. Existen unas cuantas instalaciones que utilizan energía de la marea y que operan comercialmente. La generación eléctrica por esta vía puede dividirse en incremento y decremento de la marea, olas, corrientes por marea, corrientes oceánicas, gradientes de temperatura y gradientes salinos.

El desarrollo de estas tecnologías todavía presenta importantes barreras sobre todo porque el desarrollo de proyectos piloto de gran escala implica altos costos y riesgos.

La Tabla 15 muestra los costos de las tecnologías presentado en el último reporte tecnológico de la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2010).

Tabla 15. Costos de las tecnologías renovables para generación eléctrica

|                              | Inversión USD/kW |           | Operación y mantenimiento<br>USD/kW/año |      |
|------------------------------|------------------|-----------|---|------|
|                              | 2010             | 2050      | 2010                                    | 2050 |
| Turbina de vapor con biomasa | 2500             | 1950      | 111                                     | 90   |
| Geotérmica                   | 2400-5500        | 2150-3600 | 220                                     | 136  |
| Gran hidroeléctrica          | 2000             | 2000      | 40                                      | 40   |
| Pequeña hidroeléctrica       | 3000             | 3000      | 60                                      | 60   |
| Solar fotovoltaica           | 3500-5600        | 1000-1600 | 50                                      | 13   |
| Concentradores solares       | 4500-7000        | 1950-3000 | 30                                      | 15   |
| Océano                       | 3000-5000        | 2000-2450 | 120                                     | 66   |
| Viento en tierra             | 1450-2200        | 1200-1600 | 51                                      | 39   |

|                  | Inversión USD/kW |           | Operación y mantenimiento<br>USD/kW/año |      |
|------------------|------------------|-----------|---|------|
|                  | 2010             | 2050      | 2010                                    | 2050 |
| Viento en océano | 3000-3700        | 2100-2600 | 96                                      | 68   |

Fuente: AIE (2010)

## IX.2 SECTORES RESIDENCIAL, COMERCIAL Y PÚBLICO

Existen diversas tecnologías que permiten reducir el consumo de combustibles y las emisiones de GEI en estos sectores. A continuación se presentan algunas de ellas para los principales usos finales.

### Calentadores de agua

La tecnología del calentador de agua que en México mayoritariamente utiliza gas como combustible tiene diversas posibilidades de mejora. Los calentadores de agua se dividen principalmente en los que tienen tanque de almacenamiento y los instantáneos, siendo estos últimos los más eficientes pero requieren cierta presión de agua para su funcionamiento óptimo. Las mejoras tecnológicas para aumentar la eficiencia provienen de un mejor aislamiento, uso de piloto electrónico, mejoras en los quemadores.

### Calentadores y enfriadores solares

La tecnología solar provee calor que puede ser utilizado para aplicaciones de bajas temperaturas, que pueden llegar hasta los 250°C, incluyendo calentamiento de agua, del espacio y enfriamiento.

Los sistemas solares activos colectan la radiación del sol calentando un fluido y pueden ser de circulación del tipo termosifón (natural) o por bombeo (forzada). Hay dos principales tipos de colectores solares, los planos, que pueden tener cobertura o no de vidrio y los de tubos evacuados o al vacío.

Los colectores solares pueden ser utilizados en sistemas híbridos, calentadores de gas, bombas de calor etc. Esta es una tecnología de alta comercialización en México con diversas empresas proveedoras. Su aplicación es fundamentalmente residencial pero puede ser comercial e incluso ayuda al precalentamiento industrial. Las Tablas 6.2 y 6.3 presentan

los costos promedio presentados por la AIE para viviendas individuales y multifamiliares respectivamente (AIE, 2010).

### **Bombas de calor y aires acondicionados**

Las bombas de calor utilizan electricidad para su operación y son tecnologías muy eficientes que proveen calentamiento y enfriamiento del espacio y de agua. El principio de funcionamiento de la bomba de calor es el mismo que el de un refrigerador. Éste consigue enfriar un espacio cerrado extrayendo la energía del interior a baja temperatura, cediéndola al exterior a mayor temperatura. Si se invierte el funcionamiento de un refrigerador enfriando el aire exterior y calentando el interior, se obtiene la llamada bomba de calor. Por esta razón la mayoría de estos equipos son reversibles y pueden refrigerar en época de calor y calentar en época de frío. La eficiencia de las bombas de calor se mide por el coeficiente de eficiencia que es mayor de 1. Las bombas de calor pueden ser utilizadas también para calentamiento de agua en sistemas centrales o para albercas.

La mayoría de los aires acondicionados son bombas de calor. El desarrollo de la tecnología de bombas de calor ha permitido que los aires acondicionados más modernos tengan eficiencias considerablemente superiores a los antiguos. El coeficiente de eficiencia ha aumentado casi al doble (de 3 a 6) e incluso alcanzan un COE de 9.

La Tabla 18 presenta costos de bombas de calor para calentamiento y enfriamiento de acuerdo con la AIE (2010).

### **Diseño bioclimático**

Los diseños de edificios se optimizan para reducir las necesidades de calentamiento y enfriamiento, maximizando el uso de la energía solar pasiva. Estos diseños brindan los beneficios de la radiación y la iluminación gratuita del sol para reducir las necesidades de calentamiento e iluminación en climas fríos. De forma similar en climas calientes, el uso de masa térmica, aislamientos, sombras y superficies reflejantes y ventilación por convección, minimiza el uso de aires acondicionados. Las técnicas o tecnologías más conocidas en el uso pasivo de la energía solar son:

- ✓ Altos niveles de aislamiento en paredes, techos y pisos para reducir pérdidas de calor en climas fríos
- ✓ Minimización de los componentes del diseño que generalmente conducen calor (conocidos como puentes térmicos)
- ✓ Utilización de ventanas de alto rendimiento (con bajos valores U)
- ✓ Ajuste de aire para reducir pérdidas de calor y cargas de calor latente en climas fríos. Esto requiere en general de sistemas mecánicos que ventilen la edificación. Estos sistemas también pueden ser utilizados para ganancia de calor.
- ✓ Buen diseño solar pasivo, ubicación, ventilación, etc.
- ✓ Existen diversas normas y guías de este tipo en México. En Estados Unidos el conocido ASHRAE (Advanced Energy Design Guide series) presenta diversos principios de diseño que representan costos adicionales muy bajos o negativos tomando en cuenta la vida de la vivienda.

### **Iluminación y electrodomésticos**

Existe un gran potencial de reducción del consumo de electricidad por iluminación y electrodomésticos a nivel residencial y comercial. Nuevas tecnologías como los LEDs (de la sigla inglesa *LED*: Light-Emitting Diode: 'diodo emisor de luz') reducen consumos para iluminación y equipos como la televisión y computadoras, y su larga vida las hace más costo efectivas. Las Tablas 19 a 25 a presentan una estimación de los consumos unitarios actuales de diversos equipos domésticos basado en Rosas et al. (2010). Asimismo presenta los valores de los equipos nuevos de acuerdo con las normas oficiales mexicanas, las normas y el programa Energy Star de los Estados Unidos (USEPA, 2011).

Tabla 16. Características y costos de los sistemas solares térmicos para vivienda individual de acuerdo a escenarios tecnológicos de la AIE

|  | Vivienda individual |           |           |           |
|--|---------------------|-----------|-----------|-----------|
|  | 2006                | 2015      | 2030      | 2050      |
| OCDE Europa  |                     |           |           |           |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 2.8-4.2             | 2.8-4.3   | 3.6-5.5   | 3.6-5.5   |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 8.4-10.5            | 8.4-10.6  | 17-21     | 17-21     |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 4.8-8               | 4.8-8     | 6.2-10.5  | 6.2-10.5  |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 16.1-18.5           | 16.1-18.5 | 32-37     | 48.2-55.6 |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 1140-1340           | 950-1050  | 450-550   | 450-550   |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1530-1730           | 1200-1300 | 700-800   | 700-800   |
| OCDE Norte América   |                     |           |           |           |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 2.6-4.2             | 2.6-4.3   | 3.6-5.5   | 3.6-5.5   |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 8.4-10.2            | 8.4-10.3  | 25-32     | 25-32     |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 9.7-12.4            | 9.7-12.4  | 17-21     | 12.7-16.1 |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 19.8-29.2           | 19.8-29.2 | 39.6-58.4 | 59.3-87.6 |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 1200-2100           | 950-1900  | 450-560   | 450-550   |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1530-2100           | 1200-2000 | 700-800   | 700-800   |
| OCDE Pacífico  |                     |           |           |           |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 2.1-4.2             | 2.1-4.3   | 4.1-4.9   | 4.1-4.9   |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 7-10                | 7-11      | 15-18     | 22-28     |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 6.5-10.3            | 6.5-10.3  | 10.5-12   | 10.5-12   |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 17.2-24.5           | 17.2-24.5 | 36.8-44.2 | 54-68.7   |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 1100-2140           | 1000-1930 | 710-1340  | 490-1210  |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1400-2140           | 1300-1950 | 1000-1350 | 700-1250  |

Tabla 17. Características y costos de los sistemas solares térmicos para vivienda multifamiliar de acuerdo a escenarios tecnológicos de la AIE

|  | Vivienda multifamiliar |           |           |          |
|--|------------------------|-----------|-----------|----------|
|  | 2006                   | 2015      | 2030      | 2050     |
| OCDE Europa  |                        |           |           |          |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 35                     | 35        | 45        | 45       |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 70-130                 | 70-130    | 140-260   | 210-390  |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 60-77                  | 60-77     | 78-100    | 78-100   |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 134-230                | 134-230   | 268-463   | 402-690  |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 950-1050               | 730-800   | 225-275   | 225-275  |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1140-1340              | 950-1050  | 450-550   | 450-550  |
| OCDE Norte América   |                        |           |           |          |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 35                     | 35        | 45        | 45       |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 70-105                 | 70-105    | 140-210   | 210-315  |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 82-122                 | 82-122    | 107-158   | 107-158  |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 165-365                | 165-365   | 330-730   | 495-1095 |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 950-1050               | 730-800   | 225-275   | 225-275  |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1140-1340              | 950-1050  | 450-550   | 450-550  |
| OCDE Pacífico  |                        |           |           |          |
| Tamaño típico : calentamiento de agua (kWt)                    | 35                     | 35        | 45        | 45       |
| Tamaño típico : calentamiento de agua, sistema combinado (kWt) | 70                     | 70        | 210       | 315      |
| Energía útil calentador de agua (GJ/sistema/año)               | 86                     | 86        | 158       | 158      |
| Energía útil calentador de espacio y agua (GJ/sistema/año)     | 172                    | 172       | 730       | 1096     |
| Costo de instalación: nuevo (USD/kWt)                          | 1850-2050              | 1650-1850 | 950-1200  | 500-1100 |
| Costo de instalación: renovación (USD/kWt)                     | 1950-2050              | 1750-1850 | 1150-1250 | 950-1150 |

Fuente: AIE (2010)

Tabla 18. Características tecnológicas y costos de bombas de calor para calentamiento y enfriamiento

|  | Norte<br>América | Viviendas individuales<br>China e<br>India | OCDE<br>Pacífico | OCDE<br>Europa |
|--|------------------|--|------------------|----------------|
| Tamaño típico  | 2-19             |  | 2.2-10           | 2-15           |
| Vida (años)  | 15-20+           |  | 8-30             | 7-30           |
| Costos   |                  |  |                  |                |
| Costos de instalación (aire a aire<br>USD/KWe)                       | 475-1250         |  | 400-536          | 558-1430       |
| Costos de instalación (ASHP kWe) <sup>1</sup>                        | 720-1250         |  | 560-1333         | 607-3187       |
| Costos de instalación (GSHP kWe) <sup>2</sup>                        | 905-1700         |  | 1000-1400        | 1170-2267      |
| Costos de energía  |                  |  |                  |                |
| USD/GJ rango para todas (combinando<br>calentamiento y enfriamiento) | 16-29            | 7-11                                       | 18.49            | 18-64          |

Fuente: Tabla 6.3 (AIE, 2010).

1 ASHP. Air source heat pumps

2. GSHP ground-source heat pumps

Sources: IEA Heat Pump Programme; VHK, 2007 y McNeil *et al.* 2005.

Tabla 19. Especificaciones y consumos para calentadores de gas

| Equipo  | Norma<br>nacional     | Especificaciones        |                      |                       |  |  |
|---|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|--|--|
|   |                       | Carga térmica<br>máxima | Eficiencia<br>mínima | Temperatura<br>máxima | Gradiente<br>de<br>temperatura<br>mínimo | Estimación de<br>consumo unitario<br>de gas por<br>hogar*(MJ/equipo/año) |
| Calentador de<br>agua<br>doméstico de<br>almacenamiento | NOM-003-<br>ENER-2000 | 35 kW                   | 74                   | 70±5                  |  | 5.87   |
| Calentador de<br>agua<br>doméstico<br>instantáneo       | NOM-003-<br>ENER-2000 |                         | 74                   |                       | 22                                       | 5.15   |
| Calentador de<br>agua<br>doméstico de<br>recuperación   | NOM-003-<br>ENER-2000 |                         | 74                   |                       | 22                                       | 5.15   |
| Calentador de<br>agua<br>comercial de<br>baja           | NOM-003-<br>ENER-2000 | >35 kW≤<br>108 kW       | 79                   | 70±5                  |  |  |

| Equipo   | Norma nacional    | Especificaciones     |                   |                    |                                 |   |
|--|-------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|---|
|  |                   | Carga térmica máxima | Eficiencia mínima | Temperatura máxima | Gradiente de temperatura mínimo | Estimación de consumo unitario de gas por hogar*(MJ/equipo/año) |
| temperatura                                      |                   |                      |                   |                    |                                 |   |
| Calentador de agua comercial de alta temperatura | NOM-003-ENER-2000 | >35 kW ≤ 108 kW      | 79                | 82±5               |                                 |   |
| Calentador de agua comercial instantáneo         | NOM-003-ENER-2000 |                      | 79                |                    | 22                              |   |
| Calentador de agua comercial de recuperación     | NOM-003-ENER-2000 |                      | 79                |                    | 22                              |   |

\* Considerando un gradiente de 40 C; 4.16 ocupantes por vivienda; consumo de 40 lt por persona/día; baño tres veces por semana

De acuerdo con Rosas et al. 2010; el consumo unitario promedio anual de los calentadores de gas para 2006 fue de 7.8 MJ/equipo/año

Fuente: CONUEE (2011); Rosas et al (2010).

Tabla 20. Especificaciones y consumos para iluminación residencial

| Tipo          | Lúmenes | Watts | Vida lámpara | Horas/día | Consumo kWh/año |
|---------------|---------|-------|--------------|-----------|-----------------|
| CFL           | 300     | 9     | 8000 a 10000 | 3         | 9.9             |
| CFL           | 800     | 13    | 8000 a 12000 | 3         | 14.2            |
| CFL           | 1200    | 18    | 8000 a 12000 | 3         | 19.7            |
| CFL           | 1200    | 20    | 8000 a 12000 | 3         | 21.9            |
| CFL           | 2800    | 42    | 10000        | 3         | 46.0            |
| Led           | 315-367 | 7     | 25000        | 3         | 7.7             |
| Led           | 367.1   | 8.07  | 50000        | 3         | 8.8             |
| Led           | 321     | 8.2   | 25000        | 3         | 9.0             |
| Led           | 822-858 | 18    | 35000        | 3         | 19.7            |
| Led           | 807     | 14.2  | 35000        | 3         | 15.5            |
| Led           | 1076    | 23    | 35000        | 3         | 25.2            |
| Led           | 1304    | 24.2  | 35000        | 3         | 26.5            |
| Led           | 807     | 14.2  | 1000         | 3         | 15.5            |
| Incandescente | 1300    | 100   | 1000         | 3         | 109.5           |

| Tipo          | Lúmenes | Watts | Vida lámpara | Horas/día | Consumo kWh/año |
|---------------|---------|-------|--------------|-----------|-----------------|
| Incandescente | 700     | 60    | 1000         | 3         | 65.7            |
| Incandescente | 410     | 40    | 1000         | 3         | 43.8            |

De acuerdo con Rosas et al. 2010. El consumo de electricidad para iluminación en México para 2006 se calcula para 6.7 lámparas por hogar; 3 horas diarias; promedio, 50.8 watts; resultando en 373 kWh/año por hogar.

Fuentes: USEPA (2011); Rosas et al. (2010)

Tabla 21. Especificaciones y consumos para refrigerador

| Refrigeradores  | Norma nacional   | kWh/año          | Volumen promedio                    | kWh/año promedio | kWh/año con energy star |
|---|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------|
| Refrigerador solo, convencional y refrigerador-congelador (R/C) con deshielo manual o semiautomático  | NOM015-ENER-2002 | 0,31VA+<br>248,4 | 366 lt (252 ref y 115.4 congelador) | 384.5            | 307.6                   |
| Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, sin despachador de hielo, y refrigeradores solos con deshielo automático | NOM015-ENER-2002 | 0,35VA+<br>276,0 | 366 lt (252 ref y 115.4 congelador) | 429.7            | 343.7                   |
| Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, con despachador de hielo.  | NOM015-ENER-2002 | 0,36VA+<br>406,0 | 460 lt (458 ref y 266 congelador)   | 727.0            | 581.6                   |

VA- Volumen ajustado

De acuerdo con Rosas et al. 2010; el consumo unitario promedio anual de los refrigeradores en México para 2006 fue de 616 kWh/año

Sello FIDE para refrigerador de 383 lt: 411 kWh/año

Fuente: CONUEE (2011); USEPA (2011)

Tabla 22. Especificaciones y consumos para TV

|  | Pulgadas | Energy star<br>(2010)Pmax | Energy star<br>(2012) Pmax | Horas/ día | kWh/año con<br>energy star<br>2010 | kWh/año con<br>energy star<br>2012 |
|--|----------|---------------------------|----------------------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Pantalla menor de<br>19 a 20 pulgadas<br>(275 pulgadas<br>cuadradas de área<br>de pantalla)  | 275      | $0.190 * A + 5$           | $0.130 * A + 5$            | 4          | 83.6                               | 59.5                               |
| Pantalla mayor o<br>igual a 19 a 20<br>pulgadas y menor<br>o igual a 37 o 38<br>pulgadas (entre<br>275 y 1068<br>pulgadas<br>cuadradas de área<br>de pantalla) | 672      | $0.120 * A + 25$          | $0.084 * A + 18$           | 4          | 154.1                              | 108.6                              |
| Pantalla mayor a<br>38 pulgadas<br>(mayor a 1068<br>pulgadas<br>cuadradas de área<br>de pantalla)  | 1070     | $0.120 * A + 25$          | 108                        | 4          | 224.0                              | 157.7                              |

De acuerdo con Rosas et al. 2010 el consumo unitario anual de las televisiones en México para 2006 fue de 153 kWh/año

Fuente: USEPA (2011)

Tabla 23. Especificaciones y consumos para lavadora de ropa

|  |                               | Valores<br>mínimos de<br>factor de<br>energía en<br>ft <sup>3</sup> /kWh/cic<br>lo | kWh/cicl<br>o | kWh/año<br>promedio<br>* | kWh/año<br>promedio<br>* | kWh/año<br>o con<br>energy<br>star | Sello<br>FIDE<br>kWh/año<br>o |
|--|-------------------------------|--|---------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Lavadora de ropa<br>doméstica  |                               |  |               |                          |                          |                                    |                               |
| Lavadora de ropa<br>automática de eje<br>vertical, con capacidad<br>volumétrica del<br>contenedor menor a<br>45.3 lt (1.6 ft <sup>3</sup> )            | NOM-<br>005-<br>ENER-<br>2010 | 0.65   | 2.31          |                          | 240                      | 78                                 |                               |
| Lavadora de ropa<br>automática de eje<br>vertical, con capacidad<br>volumétrica del<br>contenedor igual o<br>mayor a 45.3 lt (1.6<br>ft <sup>3</sup> ) | NOM-<br>005-<br>ENER-<br>2010 | 1.26   | 1.27          | 154                      | 132                      | 83                                 |                               |
| Lavadora de ropa<br>automática de eje<br>horizontal  | NOM-<br>005-<br>ENER-<br>2010 | 1.26   | 1.27          |                          | 132                      | 83                                 |                               |
| Lavadora de 13 Kg  | Sello<br>FIDE                 |  |               |                          |                          |                                    | 65                            |

\* Dos cargas semanales de ropa. De acuerdo con Rosas et al. 2010, el consumo unitario anual de las lavadoras de ropa en México para el año 2006 fue de 154 kWh/año

Tabla 24. Especificaciones y consumos para aire acondicionado individual

|  | NORMA                      | Wt promedio | REE(Wt/We) | Horas /<br>año | kWh/año<br>promedio | kWh/año<br>promedio<br>con energy<br>star |
|--|----------------------------|-------------|------------|----------------|---------------------|---|
| Sin ciclo<br>inverso y con<br>ranuras<br>laterales | NOM-021-<br>ENER/SCFI-2008 | 3222        | 2.87       | 1200           | 1347                | 1225                                      |
| Sin ciclo<br>inverso y con<br>ranuras<br>laterales | NOM-021-<br>ENER/SCFI-2008 | 3450        | 2.87       | 1200           | 1443                | 1311                                      |
| Sin ciclo<br>inverso y sin<br>ranuras<br>laterales | NOM-021-<br>ENER/SCFI-2008 | 3222        | 2.49       | 1200           | 1553                | 1412                                      |

|   | NORMA                  | Wt promedio | REE(Wt/We) | Horas / año | kWh/año promedio | kWh/año promedio con energy star |
|---|------------------------|-------------|------------|-------------|------------------|----------------------------------|
| Con ciclo inverso y con ranuras laterales | NOM-021-ENER/SCFI-2008 | 8229        | 2.49       | 1200        | 3966             | 3605                             |
| Sin ciclo inverso y con ranuras laterales | NOM-021-ENER/SCFI-2008 | 7351        | 2.34       | 1200        | 3141             | 3427                             |

De acuerdo con Rosas et al. 2010 el consumo unitario anual de equipos de aire acondicionado en México para 2006 fue de 2042 kWh/año

Fuente: CONUEE (2011); USEPA (2011)

Tabla 25. Especificaciones y consumos para bombas de calor para aire acondicionado central

|  | Wt promedio                  | Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) rating | Horas al año | kWh/año promedio con energy star | Más eficiente |
|--|------------------------------|--|--------------|----------------------------------|---------------|
| < 19038.5 watts térmicos (< 65000 btu/hr ) | Ener gy star USA 65000 btu/h | 14.5 btu/hr / we (19.5 más eficiente)          | 1200         | 5379                             | 4000          |

Fuente: USEPA (2011)

### IX.3 INDUSTRIAL

Las medidas de mitigación en el sector industrial incluyen eficiencia energética, fuentes renovables de energía, uso de combustibles con menor contenido de carbono (carbón a gas natural por ejemplo), pero también el reciclaje de desechos, cambios en el diseño de productos, sustitución de materias primas y finalmente los sistemas de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

En la industria existen cambios tecnológicos que directamente están vinculados con un proceso particular (arco eléctrico en la industria siderúrgica, por ejemplo), sin embargo

también existen las llamadas tecnologías transversales, cuyo uso y por tanto implicaciones en su eficiencia energética puede generalizarse a la mayoría de las ramas (como calderas o motores eléctricos, por ejemplo).

La demanda de electricidad de los motores industriales (compresores, bombas y ventiladores) puede reducirse por:

- ✓ Uso de motores de alta eficiencia.
- ✓ Adaptación según tamaño y requisitos de carga. Muchos motores son sobredimensionados y su uso implica factores de carga subóptimos que reducen significativamente su eficiencia y potencia.
- ✓ Uso de actuadores ajustables de velocidad para acoplar velocidad y torque con los requisitos de carga. El ahorro potencial depende críticamente de la carga.
- ✓ Reemplazo de dispositivos ineficientes, simplificación de desecho de las transmisiones mecánicas.
- ✓ Optimización de sistemas de motor (ventiladores, bombas, compresores, sistemas de tracción y de transmisión), de distribución (tuberías, ductos y dispositivos de control de flujo como válvulas, reguladores y apagadores) y equipo de uso final (herramientas, prensas, intercambiadores de calor y mezcladores) para disponer más eficientemente de la energía.
- ✓ Mantenimiento apropiado y reparación. Por ejemplo, un mal rebobinado puede dañar los motores y bajar su eficiencia significativamente, así como los filtros o las superficies de los intercambiadores de calor sucios.
- ✓ Mantenimiento de niveles aceptables de calidad de potencia.

A continuación se resumen las tecnologías por rama industrial que representan reducción en las emisiones de GEI, presentados en los escenarios tecnológicos de la AIE (2010).

#### Industria siderúrgica

En la actualidad pueden encontrarse tres grandes procesos de fabricación del acero. Dos de ellos pertenecen a la ruta integrada, que provee acero desde el mineral de hierro y que son: el alto horno que produce arrabio y el hogar abierto (Blast furnace-Open Herat: BF-OH), y

el alto horno con convertidor básico al oxígeno (BF-BOF por sus siglas en inglés). Ambos emplean materias primas tales como mineral de hierro, carbón, caliza y en algunos casos, chatarra de aceros reciclados. El otro proceso es del horno de arco eléctrico (HEA por sus siglas en inglés) que usa principalmente chatarra de aceros reciclados o hierro de reducción directa (HRD) también denominado hierro esponja.

Los tres procesos de producción pueden ser complementadas con avanzados tratamientos metalúrgicos secundarios que crean la composición deseada de los aceros (World Steel Association, 2008; IEA, 2006).

La etapa siguiente a la fabricación de productos del acero es la colada, que tiene el objeto de solidificar el acero líquido y darle el formato físico deseado. La colada continua, que es más eficiente, es el proceso generalmente usado para la obtención de palanquillas, barras y planchones (Castillo, 2010).

Los procesos más utilizados en México son el DRI/EAF que utiliza principalmente el gas natural y el arco eléctrico, cuya ampliación está limitada por la carencia de mayor cantidad de chatarra en el país. Asimismo, en la etapa secundaria, la colada continua es ampliamente utilizada.

La industria siderúrgica en México es en general muy eficiente, pues en muchas plantas integradas se aprovechan los gases de salida del alto horno y de los hornos productores de coque, para cogeneración, o para precalentamiento del aire necesario para los proceso de fabricación. Ha aumentado la producción de hierro por reducción directa. Esto incluye el desarrollo de tecnología propia, como es el caso de la tecnología que generó HYLSA con sus diferentes procesos de HYL, que está colocada entre las mejores y más eficientes a nivel internacional. En la producción de acero, se sustituyó por completo el horno de hogar abierto por el horno básico de oxígeno y el arco eléctrico. En la producción secundaria, el aumento de la colada continua que sustituyó casi por completo a la colada en lingotes, el aumento de la producción de laminados en caliente y un ligero aumento del uso de la chatarra como materia prima en los hornos de arco eléctrico (Castillo, 2010).

Otras tecnologías que pueden aumentar la eficiencia son por supuesto, el incremento del uso de chatarra, la inyección de carbón pulverizado en los altos hornos, como sustituto del coque, el diseño de nuevos reactores que usan carbón en sustitución del coque (por ejemplo, COREX) o mineral fino de hierro (por ejemplo, FINEX) y hornos con convertidor de ciclo.

Se han desarrollado tecnologías en Alemania y Japón para inyectar desperdicio de plástico en altos hornos como sustituto de coque y de carbón, así como en hornos de coque. Estas tecnologías han sido aplicadas comercialmente en Austria y en Japón y la experiencia demuestra que su uso en hornos de coque da mayor estabilidad al proceso que como sustituto de coque o carbón.

Los esfuerzos realizados en torno a otras fuentes alternas de energía como el hidrógeno, podrían ser empleados por esta industria con importantes reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, los análisis realizados por la AIE exponen que el costo de esa acción de mitigación podría superar los dólares USA 50/t CO<sub>2</sub>.

Los altos hornos son la fuente más grande de emisiones directas de CO<sub>2</sub> en la fabricación de acero, mientras que los hornos DRI son de menor emisión. Aun así ambos son procesos candidatos para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

Si se rediseñaran los altos hornos de tal forma que usaran oxígeno en lugar de aire enriquecido y que reciclaran los gases, sus emisiones suficientemente ricas en CO<sub>2</sub>, podrían ser capturadas con absorbentes físicos.

La fundición de reducción también es una tecnología que se está empleando para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. La captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> junto con la inyección de oxígeno, podrían producir una reducción de hasta un 95% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El programa Ultra Low CO<sub>2</sub> Steelmaking (ULCOS) es un consorcio formado en 2004, por productores, proveedores e institutos de investigación europeos que analizan proyectos innovadores para la fabricación de acero en la búsqueda de reducciones de las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> de la siderurgia en un rango que va del 30% al 70%. Una de las tecnologías estudiada se basa en el reciclaje del gas del alto horno (Top Gas Recycling

Blast Furnace) después de una fase de descarbonatación, a la que también pueden incorporarse tecnologías de captación y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. También se estudian otras tecnologías revolucionarias y avanzadas, entre las que se incluye la electrólisis, el uso de hidrógeno, el uso de carbón y gas natural con captación y fijación de CO<sub>2</sub> en reactores diferentes al alto horno, o la utilización de biomasa.

La empresa sueca LKAB productora de minerales y pellets está probando varias configuraciones de sistemas de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en su alto horno experimental a pequeña escala, con la idea de poner en funcionamiento una planta de demostración en el periodo 2015 a 2020.

#### Minerales no metálicos

El subsector de minerales no metálicos comprende la producción de cemento, ladrillos, vidrio, cerámicos y otros materiales empleados en la construcción.

Las diferentes tecnologías empleadas para la producción de cemento muestran indicadores de eficiencia energética muy variadas, pero en general este insumo representa entre un 20% y un 40% del costo total de producción de cemento.

El proceso de producción de escoria a partir del calentamiento de la caliza a temperaturas sobre 950° es el que consume más energía y genera el 57% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento, que no están asociadas al uso de energía. El cemento Portland que es el más usado contiene 95% de escoria. Asimismo el molino tanto de materia prima como de producto terminado usa grandes cantidades de electricidad.

En consecuencia, la reducción de emisiones en el proceso de calcinación puede que no se dé por la introducción de medidas de eficiencia energética o sustitución de combustibles, sino por el diseño y mezcla del cemento con nuevos materiales y por la selección de materia prima.

Para el aumento de la eficiencia también se ha impulsado la generación de calor residual en hornos provistos de pre-calentadores y la recuperación de calor de escoria, aun cuando es oneroso.

Por su parte, la reducción sustancial del uso de cemento podría darse a través de la mejora del proceso de molienda y de los aditivos y generar productos de alta resistencia, como el cemento de alta densidad cuya aplicación requiere conocimiento especial y constituye un costo mayor que el del cemento convencional.

Otra manera de reducir emisiones es sustituir combustibles fósiles por desechos (llantas, madera, plásticos, químicos) o biomasa. Los hornos de cemento están preparados para la combustión con desechos, debido a las altas temperaturas que manejan y porque la escoria y la materia prima de la caliza actúan como limpiadores de gases. La sustitución puede ir desde un 35% a un 70% en plantas cementeras de Bélgica, Francia, Alemania, los Países Bajos y Suiza. Para lograr niveles mayores de sustitución el sistema debe incorporar un pretratamiento muy estricto y controlado para obtener valores caloríficos homogéneos. En México, estos combustibles ya son utilizados.

Otra fuente de energía es la carpeta asfáltica cuyo uso requeriría exigir a los hornos cementeros controles de emisiones similares a los de las instalaciones incineradoras de basura.

La escoria de alto horno enfriada con agua para la fabricación de cementos mezclados, es otra forma de reducir el consumo de energía y las emisiones en el proceso de producción de cemento. Según la AIE si se usara toda la escoria de alto horno se obtendría una reducción aproximada de 100 Mt CO<sub>2</sub>.

Otros materiales que podrían usarse como sustitutos de la escoria son la ceniza volcánica, la piedra caliza y el vidrio roto con una reducción posible del 50% en el consumo de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el largo plazo, se desarrollarán nuevos tipos de cemento que no usen piedra caliza como un insumo primario. Actualmente se producen los cementos puzolánicos sintéticos.

En cuanto a las acciones de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> podría usarse oxígeno en lugar de aire en los hornos de cemento, que implica incrementos en la inversión y en los costos de producción, pero se obtendrían emisiones de CO<sub>2</sub> relativamente puro, listo para

ser capturado, almacenado o utilizado directamente, por ejemplo, para la recuperación asistida del petróleo.

### **Química y petroquímica.**

El subsector de productos químicos y petroquímicos usa numerosos procesos de destilación, evaporación, calefacción, refrigeración, electrolíticos y bioquímicos.

La fabricación de los siguientes productos del subsector concentra más del 70% del consumo de energía en el mundo de toda la industria química y petroquímica: Químicos del alto-valor (HVC) a partir del craqueo a vapor de nafta, etano y otros materiales para producir etileno, propileno, benceno, tolueno y xilenos; metanol; amoníaco.

Más de la mitad de la energía total consumida por el subsector proviene de petróleo, gas natural y carbón. En consecuencia, la producción y uso de químicos y petroquímicos emite mucho más CO<sub>2</sub> fósil durante el ciclo de vida completo que la porción que corresponde a emisiones industriales.

El metanol se usa como anticongelante, solvente y combustible. Aproximadamente el 80% de su producción usa gas natural y el resto carbón, predominantemente en China.

El amoníaco es el componente principal de casi todos los fertilizantes producidos en el mundo y resulta de la combinación de nitrógeno e hidrógeno. El nitrógeno se obtiene de la atmósfera, mientras el hidrógeno es obtenido principalmente del gas natural y en menor grado, de la nafta, del gas de coquería, de refinería o del crudo pesado.

Del total de producción de amoníaco mundial, un 77% aproximadamente, usa gas natural reformado con vapor, 14% usa gas de carbón, principalmente en China, y 9% emplea los productos de la oxidación de hidrocarburos, principalmente en India.

Las opciones para reducción del consumo energético en el subsector incluyen hornos de altas temperaturas (con materiales capaces de resistir más de 1,100°C), integración de turbinas de gas (un tipo de horno de altas temperaturas que combina calor y potencia), columnas de destilación avanzadas combinadas con plantas de refrigeración. La suma de

estas instalaciones podría producir economías de 3 GJ por tonelada de etileno. El potencial total de mejora de la eficiencia energética es de 24 Mtpe.

La integración de turbinas de gas con calentadores de craqueo reduce entre un 10% y un 20% el consumo de energía para la producción del etileno. El gas caliente resultante se usa como aire de combustión para el horno.

En términos de sustitución de materiales se recomienda el uso de biomasa en lugar del petróleo, dado que constituye el mayor potencial para la reducción del consumo de energía de la industria. Hay cuatro maneras principales de producir polímeros y otros químicos orgánicos a partir de biomasa: Uso directo de polímeros naturales con algún tratamiento térmico, derivación química o mezcla; Conversión termoquímica de biomasa (ejemplo: los procesos Fischer Tropsch y metanol-a-olefinas- MTO-) vía pirólisis o gasificación, seguida de una síntesis y procesamiento. La expansión rápida de MTO permite el uso de carbón económico y de gas atrapado; Biotecnología verde que produce biopolímeros en siembras genéticamente modificadas; Biotecnología blanca o industrial que usa procesos de fermentación (para productos a granel) con conversiones enzimáticas.

Algunos productos bioquímicos ofrecen ahorros sustanciales de energía y reducción de emisiones, tal es el caso de la producción de fibra a partir de celulosa como una alternativa a la fibra sintética, que implica reducciones del 60%. También pueden lograrse ahorros grandes con Biotecnología blanca, por ejemplo en la producción del bio-etanol de etileno para hacer polietileno y otros derivados. La AIE reporta que se puede reducir en una tercera parte, el uso de energías no renovables y el ciclo de vida de los GEI, al sustituir el etileno petroquímico, por el etileno producido del bioetanol de maíz.

Si se usa el azúcar fermentable de caña en lugar de maíz, la producción de etileno pasaría de ser consumidor de energía a productor neto de energía como consecuencia de los altos rendimientos del cultivo de caña de azúcar tropical y las grandes cantidades de bagazo que éste genera que puede usarse para reemplazar el combustible fósil en la generación de electricidad.

Respecto a la recuperación de plásticos se tienen los siguientes procesos: Reciclaje mecánico, del total del plástico desechado, sólo se puede reciclar entre un 20% y un 30% por vía mecánica, el resto puede usarse para la recuperación de energía; Reciclaje de materia prima, y Recuperación de energía.

En el mundo se recicla sólo el 10% del desecho plástico. La recuperación de energía es de aproximadamente un 3% de la energía usada en su producción. Uno de los procesos más intensivos en uso de energía de la industria química es la separación. Dentro de ésta la destilación, el fraccionamiento y la extracción usan el 40% de toda la energía empleada por la industria química y representan el 50% de los costos de operación de una planta.

El empleo de membranas puede reemplazar el proceso de separación no solo de esta industria, sino también en el procesamiento de alimentos, de papel, refinación de petróleo y la metalurgia. Aunque la producción actual basada en membranas es poca, existen en el mercado variedad de ellas para muchos procesos. El desarrollo se ha orientado al diseño de membranas de calidades diferentes para la separación de mezclas de gases. El avance en investigación también deberá tender a reducir sus costos de inversión y de reemplazo.

El desarrollo de reactores de membrana, que combina conversiones químicas y separación) es una línea de investigación importante. Actualmente el desarrollo de acciones de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> es aplicable en las grandes plantas de amoníaco que poseen unidades de ciclo combinado para generación de electricidad. Muy pocos procesos de este subsector generan altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

### **Celulosa y el papel**

En México, se ha reducido significativamente la producción de celulosa (por su importación, además del uso de papel reciclado) y la industria concentra sus instalaciones en la producción de papel.

El reciclaje de papel es otro contribuyente potencial importante en la meta de reducción del consumo energético del subsector. Aunque la proporción del reciclaje de papel en algunos países es alta, todavía puede lograrse mejores metas.

Por su parte, la biomasa que no se usa para la producción de papel podría usarse para la generación de energía y se obtendría una mayor potencia que la producida por incineración de basura municipal.

La producción de pulpa química a partir de biomásas, genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> durante la combustión de la lejía negra para producir energía y la recuperación de químicos.

La integración de gas natural y ciclo combinado para la generación de energía, acoplada a un sistema de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> podría ser la configuración de planta más económica. (Berntsson, 2007)

### **Metales no ferrosos.**

El subsector de metales no-ferrosos produce aluminio, cobre, cinc, plomo y cadmio. La producción de aluminio comprende la producción primaria y el reciclaje. La producción primaria usa aproximadamente 20 veces más energía que el reciclaje y constituye tres pasos distintos: extracción de bauxita, refinación y fundición. El mayor consumo de energía se da en las refinerías, aunque también el secado de la alúmina requiere grandes cantidades de calor. Debido a la alta demanda de vapor, las plantas modernas usan sistemas de ciclo combinado.

Se recomienda rediseñar o reemplazar las fundidoras existentes por otras más eficientes respecto al uso de electricidad. En este sentido, se desarrollan celdas de drenado (cátodos de drenado) y ánodos inertes para sustituir los de carbón. Con estos ánodos también se reduce la producción de perfluorocarbonos. Esta tecnología sólo es aplicable en nuevas plantas.

Otra opción de reemplazo de equipo se refiere al cambio de calentadores a vapor por sistemas de ciclo combinado o bombas de calor.

Existe una vasta bibliografía sobre este tema. Una buena referencia son los estudios del Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) o de Utrecht University en el Copernicus Institute (Worrell, 2011 y ver <http://nws.chem.uu.nl/general/personal/worrell.htm>).

#### IX.4 TRANSPORTE

Las principales acciones de reducción de GEI en el transporte están relacionadas principalmente con:

- ✓ Bio-combustibles
- ✓ Celdas de combustible
- ✓ Autos eléctricos e híbridos (en mayor medida si la electricidad es generada por fuentes renovables)
- ✓ Aumento de la eficiencia
- ✓ Cambios en la estructura de movilidad (más transporte público menos individual, más ferrocarril menos tracto-camión, etc.)

#### **Biocombustibles**

Los biocombustibles pueden ser divididos en diferentes categorías, incluyendo tipo (líquido o gaseoso), materia prima de origen y el proceso de conversión. Los combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel tienen mayor capacidad de desarrollo que los gaseosos como el metano y el hidrógeno, debido a su fácil capacidad de sustitución de la gasolina y diesel. El proceso de conversión está clasificado de acuerdo con el uso de la materia prima que puede ser de “primera generación” que está basado principalmente en cultivos agrícolas, o de “segunda generación” que se basan en productos de celulosa provenientes de ramas, bagazo, residuos vegetales y madera. También existe la “tercera generación” de biocombustibles que puede provenir de aceite de algas marinas, alcohol de biobutanol, pero que no se espera un desarrollo masivo en el mediano plazo (2050).

Los biocombustibles de primera generación presentan diversos problemas asociados con: la seguridad alimentaria por competencia por la tierra y el agua entre cultivos para alimentación y cultivos energéticos, uso de cultivos transgénicos, biodiversidad y otros impactos ambientales. Actualmente hay una importante comercialización de etanol proveniente principalmente de maíz en Estados Unidos, China y Europa, y de la caña de azúcar en Brasil. El uso de los biocombustibles de segunda generación al menos plantea un

uso más sustentable del recurso pues parte de la utilización de residuos de madera y vegetales. Aun así, el desarrollo de los mismos plantea la necesidad de mayor investigación y desarrollo con la inyección de importantes recursos públicos y por supuesto los posibles impactos ambientales del uso masivo de estos combustibles (por ejemplo, en plantaciones forestales).

En México, el uso de biocombustibles de primera generación es mínimo, pero ya hay una utilización inicial en el combustible para aviones y algunas plantaciones energéticas en algunos estados de la República como Chiapas.

### **Celdas de combustible**

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierte hidrógeno y oxígeno en agua y produce electricidad en el proceso. La celda consiste en un electrolito entre dos electrodos. El oxígeno pasa por un electrodo y el hidrógeno por el otro generando electricidad, calor y agua. Las celdas de combustible deben utilizar energía para su operación, comúnmente este combustible es gas natural, pero puede ser GLP o biocombustibles.

La tecnología de celdas de combustible se encuentra en desarrollo y está lejos de su fase de comercialización debido principalmente a sus altos costos y dificultad en su operación. Sin embargo, sigue existiendo desarrollo en proyectos demostrativos. A la fecha, la tecnología más factible para las celdas de combustibles en el transporte es *proton exchange membrane* (PEM).

Los vehículos de celdas de combustible requieren almacenar el hidrógeno para operar las celdas o en su caso un combustible como el etanol junto con un sistema que extraiga hidrógeno del etanol para alimentar las celdas. Esto genera problemas de seguridad.

El desarrollo de las baterías para los vehículos eléctricos y de los vehículos híbridos con posibilidad de conexión a la red abre posibilidades también para los vehículos de celdas de combustible.

En el largo plazo otras fuentes pueden provenir de biogás, o de gas natural sintético.

## **Eficiencia en vehículos ligeros**

Los vehículos ligeros y pesados con motores diesel y de gasolina tienen un potencial importante de mejoras tecnológicas que derivan en aumento en la eficiencia del uso de combustible. Estas mejoras incluyen componentes del motor, transmisión y tren de manejo. Incluyen también la reducción del peso de los vehículos, mejoras en la aerodinámica y aumento en la eficiencia de sistemas auxiliares como aire acondicionado y llantas.

En México, como en la mayoría de los países, el número de vehículos ligeros crece exponencialmente y el tipo de vehículos que más lo hace es la camioneta (SUV). Las camionetas pesan más y por tanto su rendimiento vehicular es menor. La diferencia entre los autos compactos de combustión interna más eficientes y las camionetas llega a ser del 40 al 50% dependiendo del tipo de la marca y modelo. En la página del Instituto Nacional de Ecología pueden encontrarse los rendimientos por tipo de vehículo ligero. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores a los reales. En la página de la USEPA para eficiencia de vehículos ([www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)) pueden encontrarse rendimientos más reales.

De acuerdo con USEPA (2011b), para ciclos reales de manejo urbano, los vehículos compactos de gasolina más eficientes que se comercializan en los Estados Unidos, alcanzan los 13.5 Km/lt, mientras las camionetas más eficientes en ciclo urbano alcanzan los 9 km/lt.

En México, haciendo una corrección de los datos del INE ajustados a la metodología de USEPA (2011b), los autos subcompactos más eficientes alcanzan en ciclo urbano, de hasta 17 km/lt y las camionetas de 8 km/lt.

En la mayoría de los países de la OCDE existen normas de rendimiento vehicular o de emisiones de CO<sub>2</sub>. En México está en discusión una norma, sin embargo no se espera pueda publicarse en el muy corto plazo.

### **Vehículos eléctricos**

Los EV (por sus siglas en inglés) se mueven con un motor (o motores) eléctrico cuya energía proviene de un paquete de baterías cargadas con energía eléctrica de la red. La

mayoría de ellos tienen sistema de recarga al frenado. Los vehículos eléctricos presentan varias ventajas sobre los de combustión interna: no emiten contaminantes locales ni ruido, son más eficientes en la conversión de energía y requieren menos mantenimiento. Las desventajas del vehículo eléctrico a la fecha son la recarga de baterías que es lenta (4 a 8 horas), su autonomía, aunque ésta ha aumentado significativamente (160 a 250 km), el alto costo de las baterías y el peso de las mismas.

Las baterías disponibles a la fecha son las de plomo-ácido y de litio. De acuerdo con la Asociación Europea de Autos Eléctricos con Baterías (EAVEB, 2010), para el primer caso, por cada kWh de energía transmitida a las llantas, un promedio de 1.7 kWh de energía eléctrica es requerida del “tanque” a las llantas (1 kWh/60%). En el caso de las baterías de litio que son más eficientes, se requiere un promedio de 1.4 kWh (1 kWh / 72%). En comparación un vehículo de combustión interna requiere entre 4.5 y 5.6 kWh dependiendo del combustible, debido a sus eficiencias tanque-llanta son del 18% al 22%.

De acuerdo con USEPA, el rendimiento comparativo del auto eléctrico Nissan Leaf es de 45.5 km/lt, comparado con los rendimientos de los vehículos de combustión interna. Las emisiones de CO<sub>2</sub> del auto eléctrico se producen durante la carga de las baterías por la generación eléctrica. La Tabla 6.12 muestra un comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> con el factor de emisión eléctrico para México.

Avances en las baterías incluyen optimización en la capacidad de almacenamiento de energía, mayor rango de cobertura para diferentes ciclos de descarga y menores costos.

### **Vehículos híbridos**

Los vehículos híbridos (HEVs) combinan los beneficios de los autos de gasolina y los motores eléctricos. En general usan frenos regenerativos, el motor eléctrico funciona a bajas velocidades y provee energía para aceleración. Asimismo, cuando el vehículo está parado se apaga automáticamente el motor de combustión interna y se enciende a cierta velocidad. Esto hace que la eficiencia del vehículo aumente significativamente.

Vehículos híbrido eléctricos con conexión a la red (Plug-in hybrid electric vehicles – PHEVs-)

Los vehículos híbrido eléctricos con conexión (PHEV a la red son aquellos cuyas baterías pueden recargarse conectando el vehículo a la red eléctrica. El vehículo híbrido con conexión comparte las características de un vehículo híbrido eléctrico tradicional y de un vehículo eléctrico, ya que está dotado de un motor de combustión interna (gasolina, diésel o flex-fuel) y de un motor eléctrico acompañado de un paquete de baterías. Los PHEV pueden almacenar suficiente electricidad para poder disminuir significativamente el uso de gasolina.

Se espera que la mayoría de los usuarios recargue sus vehículos durante la noche, con lo cual se aprovecharían las horas de baja demanda del sistema de generación eléctrica, cuya producción tiene un costo menor.

Una de las principales barreras para la adopción generalizada de los vehículos eléctricos es el temor de los conductores al posible agotamiento de la batería antes de alcanzar su destino. Los PHEV resuelven este problema debido a que cuentan con un motor que utiliza combustible convencional, el cual entra en funcionamiento cuando se agota la batería o, como algunos cuyo motor de combustión interna funciona como generador para recargar la batería, ampliando así de forma significativa su alcance.

Entre los retos que enfrenta esta tecnología está el costo adicional, mayor tamaño y peso del paquete de baterías, así como la disponibilidad de infraestructura para la recarga, la sobrecarga del sistema de suministro eléctrico y la disponibilidad de metales y otros elementos (por ejemplo el litio) con los que se hacen las baterías actualmente.

### **Transporte terrestre de carga**

Tanto en México como en el mundo, el transporte carretero de carga, movido principalmente por diesel ha ido creciendo en detrimento del ferrocarril que tiene una intensidad energética menor. Las opciones para reducir las emisiones de GEI de este modo de transporte son el cambio de combustible, el cambio modal, la optimización en su uso (a través de operadores logísticos) y el incremento en la eficiencia de los vehículos.

Las medidas que parecen ofrecer el mayor potencial de ahorro de combustible con un mínimo de costos incluyen la mejora de los sistemas de propulsión basados en diesel, paquetes de reequipamiento eficiente para camiones, mejoras en rutas, reducción de los límites de velocidad, aumento de tamaño del carro/límites de peso y programas de capacitación al conductor. Este paquete de medidas podría alcanzar niveles de eficiencia de los camiones de hasta 30%, con un bajo o incluso negativo nivel de costos por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tabla 26. Características y emisiones de autos ligeros para diferente tecnología

|  | Km/lt                                | Eficiencia<br>lt/100 km             | Eficiencia        | Equivalente  | Factor de<br>emisión<br>CO <sub>2</sub> * | Emisiones<br>por km   | Referencia<br>para<br>rendimiento |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|---|-----------------------|-----------------------------------|
|  | Equivalente<br>(tan-que<br>a llanta) | Equivalente<br>(tanque a<br>llanta) | kWh/<br>100<br>km | MJ/100<br>km | g/MJ                                      | g CO <sub>2</sub> /km |                                   |
| Gasolina   | 10.0                                 | 10.0                                | 87.4              | 314.5        | 69.3                                      | 217.9                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Gasolina   | 17.0                                 | 5.9                                 | 51.4              | 185.0        | 69.3                                      | 128.2                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Híbrido con gasolina<br>(Toyota Prius)                 | 21.7                                 | 4.6                                 | 40.2              | 144.7        | 69.3                                      | 100.2                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Híbrido con gasolina<br>(Lexus CT 200h)                | 18.2                                 | 5.5                                 | 48.0              | 173.0        | 69.3                                      | 119.9                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Híbrido con gasolina                                   | 24.4                                 | 4.1                                 | 35.8              | 128.9        | 69.3                                      | 89.3                  | IEA (2006)                        |
| Diesel   | 11.0                                 | 9.1                                 | 90.5              | 325.9        | 74.1                                      | 241.5                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Diesel   | 24.4                                 | 4.1                                 | 40.8              | 147.0        | 74.1                                      | 108.9                 | USEPA<br>(2011)                   |
| Híbrido con diesel                                     | 31.3                                 | 3.2                                 | 31.9              | 114.7        | 74.1                                      | 85.0                  | IEA (2006)                        |
| EV (2011 Smart for<br>two electric drive<br>cabriolet) | 22.4                                 | 4.5                                 | 39.0              | 140.4        | 155.4                                     | 218.2                 | USEPA<br>(2011)                   |
| EV (2011 Nissan<br>Leaf)                               | 25.7                                 | 3.9                                 | 34.0              | 122.4        | 155.4                                     | 190.2                 | USEPA<br>(2011)                   |
| EV   | 17.8                                 | 5.6                                 | 49.0              | 176.4        | 155.4                                     | 274.1                 | Thiel et al<br>(2010)             |
| EV (REVAi)   | 79.4                                 | 1.3                                 | 11.0              | 39.6         | 155.4                                     | 61.5                  | EAVEB<br>(2010)                   |
| EV (Tesla Roadster)                                    | 68.8                                 | 1.5                                 | 12.7              | 45.7         | 155.4                                     | 71.0                  | EAVEB<br>(2010)                   |
| PEHV *   | 36.6                                 | 2.7                                 | 34.0              | 86.0         | 155.4                                     | 126.2                 | Thiel et al                       |

|                                | Km/lt                                     | Eficiencia<br>lt/100 km                  | Efi-<br>cienci<br>a | Equiv<br>a-<br>lente | Factor de<br>emisión<br>CO <sub>2</sub> * | Emisiones<br>por km   | Referencia<br>para<br>rendimiento |
|--------------------------------|---|--|---------------------|----------------------|---|-----------------------|-----------------------------------|
|                                | Equiva-<br>lente<br>(tan-que<br>a llanta) | Equiva-<br>lente<br>(tanque a<br>llanta) | kWh/<br>100<br>km   | MJ/10<br>0 km        | g/MJ                                      | g CO <sub>2</sub> /km |                                   |
|                                |   |  |                     |                      |   |                       | (2010)                            |
| PEHV (2011<br>Chevrolet Volt)* | 24.5                                      | 4.1                                      | 35.7                | 128.5                | 155.4                                     | 188.7                 | USEPA<br>(2011)                   |

Supone un poder calorífico promedio para la gasolina de 31.4 MJ/lt y para el diesel de 35.8 MJ/lt (promedio de varios años, SIE). El factor de emisión de electricidad es para el sistema eléctrico nacional en 2008.

\* 90% opera eléctrico y 10% gasolina.

## CONCLUSIONES

El trabajo de investigación que se presenta permitió identificar, recopilar y organizar una parte de la vasta información publicada por diferentes medios, relacionada con la explicación del cambio climático y sus consecuencias. La exposición resultante constituye no sólo el fundamento teórico de la tesis, sino que ubica al lector, en los conceptos y la política internacional y nacional sobre el tema.

Asimismo, como parte del marco teórico y metodológico que sustenta la tesis, se estudiaron las metodologías aplicadas para la elaboración de inventarios y escenarios de emisiones diseñadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y por el grupo de Energía y cambio climático del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Este contenido enriqueció el producto de la investigación, ya que se integró en la forma de una Guía de metodologías, que comprende por tanto, una base conceptual (capítulos II y IV), metodológica (capítulos V, VI y VII) e informativa (capítulos VIII y IX) que servirá de consulta y apoyo para la construcción de inventarios de emisiones y para el diseño de escenarios de mitigación para las entidades federativas de la República Mexicana.

El trabajo de investigación permitió identificar la brecha existente entre los requerimientos de información de esas metodologías y la oferta de información de parte del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía. El análisis de esta problemática se realizó bajo la combinación del Enfoque de Sistemas y la Metodología de los Sistemas Suaves.

Así se propuso una solución que consiste en estimar los consumos de energía de cada estado, empleando los parámetros nacionales, especialmente aquellos que relacionan dicho consumo con el Producto Interno Bruto, población o número de viviendas. El argumento general que justifica esta solución es que las emisiones de GEI están íntimamente relacionadas con la dinámica poblacional y económica de un país o región.

La estrategia elaborada como solución a la falta de información desagregada por estado, brinda las siguientes ventajas:

- Facilita el cálculo del consumo de energía y de las emisiones de GEI que este consumo genera.
- Permite reconocer las particularidades de cada estado, respecto a su estructura económica, de población, tipo de industria presente y demás variables que facilitan la construcción de la línea base y de los escenarios para cada estado.
- Puede ser usada con datos sectoriales agregados o desagregados. En cada caso se explica la fuente de información a consultar. Para trabajar con datos agregados se exponen los supuestos que se requiere asumir para cada sector y actividad.
- Es de fácil instrumentación en hojas de cálculo, lo que le imprime flexibilidad de uso y bajo costo.

Adicionalmente la Guía promueve entre los actores de la planificación del cuidado al ambiente de dichas entidades, el interés por identificar:

- Las limitaciones que imprime el marco normativo federal y local para la definición de las acciones de mitigación a aplicar.
- Las oportunidades que brindan diferentes programas federales y estatales para la promoción y ejecución de acciones de mitigación de GEI.

La solución propuesta no es la única forma de atender la problemática de ausencia de información detallada del consumo de energía para los estados, de allí que otras investigaciones pueden orientarse a generar esa información a partir de la identificación de otras variables y parámetros estatales o a partir del estudio de alguno de los sectores a nivel estatal.

## REFERENCIAS

Bazán, G. y Ortíz, G. (2010). Modelos de planeación energética, en Energía a debate, <http://www.energiaadebate.com/Articulos/Marzo2010/BazanOrtiz.htm>. México, marzo-abril.

Castro C., C. de (2009). Escenarios de energía-economía mundiales con modelos de dinámica de sistemas. Tesis Doctoral. Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática Universidad de Valladolid. España, diciembre.

Conde, C. (2006). México y el Cambio Climático Global. SEMARNAT-UNAM. México DF.

Consejo Empresario Argentino para el Desarrollo Sostenible (2003). Escenarios de Emisión de Gases Efecto Invernadero Argentina 2012. Buenos Aires - Argentina

Castillo, D. 2010. Tendencias del consumo de energía en la industria siderúrgica mexicana y análisis de los cambios tecnológicos. Tesis de licenciatura. Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2010. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2010-2024. México DF.

Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2011. Estadísticas por entidad federativa. <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/>

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. Diario Oficial de la Federación. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009)

Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2009. Metodologías para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía, México DF. Disponible en [http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod\\_gei\\_cons\\_evit.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf)

Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2011. Normas de Eficiencia Energética. [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_254\\_nom\\_de\\_eficiencia\\_en](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_254_nom_de_eficiencia_en).

Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2001. Clean Development Mechanism. <http://cdm.unfccc.int/>

European Association for Battery Electric Vehicles (EABEV). 2010. Energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles. Final Draft. <http://www.going-electric.org>

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

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Galindo, L. (2003). Análisis de escenarios económicos. Tercer reporte, en <http://www.undp.org/cu/eventos/instruverdes/Analisis%20de%20escenarios%20economicos.pdf>. Facultad de Economía. UNAM, México

Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2007. Programa General de Desarrollo 2007-2012. [www.icyt.df.gob.mx/documents/varios/ProgGralDesarrollo\\_0712.pdf](http://www.icyt.df.gob.mx/documents/varios/ProgGralDesarrollo_0712.pdf).

GDF- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA). 2007a. Programa Sectorial de Medio Ambiente <http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/programasectorial.pdf>.

GDF.- SMA. 2007b. Agenda Ambiental de la Ciudad de México. Programa de Medio Ambiente, 2007-2012. Primera edición.

GDF.- SMA. 2007c. Plan Verde de la Ciudad de México. <http://www.sma.df.gob.mx/planverde/>

GDF-SMA. 2008. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012 [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/paccm\\_resumen.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/paccm_resumen.pdf).

Gobierno del Estado de Nuevo León- Secretaría de Desarrollo Sustentable. 2010. Programa de Acción ante el Cambio Climático 2010-2015. [http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sdsustentable\\_cambio\\_climatico\\_base/PACCNL.pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sdsustentable_cambio_climatico_base/PACCNL.pdf)

Goldemberg, J.; Johansson, T.B., Reddy, A., Williams, R. 1987. Energy for a sustainable world. World Resources Institute.

Grupo de Estudios en Cambio Climático UAM-Xochimilco y Grupo de Climatología Aplicada de la Universidad Veracruzana (2004). Elaboración del programa de investigación en cambio climático. Romero L., P.; Rodríguez V., L.; y Tejeda M. A.(Comps.). México: SEMARNAT-INE.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2006. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. Coordinación del Programa de Cambio Climático. México D.F.

INE. 2008. Guía para la elaboración de Planes Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Segunda Versión Preliminar. Universidad Veracruzana <http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007m.pdf>.

INE. 2008b. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2006. Informe final. Parte 1: Energía. Instituto de Ingeniería. UNAM.

INE- Gobierno del Estado de Veracruz. 2009. Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Versión corregida y aumentada a partir de una consulta pública [http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/cvcc\\_pvacc.pdf](http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/cvcc_pvacc.pdf).

INE. 2012. Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático, en [http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010\\_guia\\_metodologias\\_peacc.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia_metodologias_peacc.pdf).

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2010. Términos de referencia para el Desarrollo de una guía para la identificación e implementación de acciones de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática. México: Coordinación del Programa de Cambio Climático.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia 410 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 and Volume 2.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007b. Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

International Energy Agency (IEA). 2006. Energy Technology Perspectives 2006, OECD/IEA, Paris

IEA. 2008. Energy Technology Perspectives 2008, OECD/IEA, Paris.

IEA. 2008b. World Energy Outlook 2008, OECD/IEA, Paris.

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

IEA, 2011. Heat Pump Program. [www.iea.org](http://www.iea.org)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).2006a. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 1. Orientación general y generación de informes.

Jaramillo, V. (2004). El ciclo global del carbono en Cambio climático una visión desde México, coordinadores Julia Martínez y Adrián Fernández. SEMARNAT-INE en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>. pp. 75-83

Johnson, T. et al. 2009. México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC). Banco Mundial - Mayol Ediciones S.A. Colombia.

Krause F. 1996. The costs of mitigating carbon emissions: A review of methods and findings from European studies. *Energy Policy* 24, 10-11: 899-915.

Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Landa, R.; Ávila, B. y Hernández, M. Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. México: British Council-PNUD México-UNESCO-IMTA-FLACSO México.

Magaña R., V. El cambio climático global en Cambio climático una visión desde México coordinadores Julia Martínez y Adrián Fernández. SEMARNAT-INE en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>. pp. 17-27. México.

Masera, O.R. y Sheinbaum, C. 2000. Incorporating Sustainable Development Concerns Into Climate Change Mitigation: A Case Study from Mexico. *Climate Change and Development*, L. Gomez Echeverri (Ed.), Yale School of Forestry and Environmental Studies-UNDP, Yale University New Haven, Connecticut, pp. 337-352.

Masera, O.R., R. Díaz, and V. Berrueta, 2005: From cookstoves to cooking systems: The integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 9(5), pp. 25-36.

McNeil, M., M. Iyer, S. Meyers, V. Letschert and J. E. McMahon (2005), "Potential Benefits from Improved Energy Efficiency of Key Electrical Products: The Case of India", *Energy Policy*, No. 36, pp. 3467-3476.

Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10

different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico, *Forest Ecology and Management*. Volume 255, 7:2074-2084

O’Ryan, R. (2008). Diseño de un modelo de proyección de demanda energética global nacional de largo plazo. Informe Final. Universidad de Chile - Comisión Nacional de Energía. Chile.

Organización Meteorológica Mundial (2011). Boletín de Gases de Efecto Invernadero. N° 7. Consultado en octubre de 2012 en [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHGbulletin\\_7\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHGbulletin_7_es.pdf).

Organización de las Naciones Unidas (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York.

Poder Ejecutivo Federal. 2000. Aprobación del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2059420&fecha=01/09/2000](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2059420&fecha=01/09/2000)

Poder Ejecutivo Federal. 2005. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/CI/CICC/25042005\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/CI/CICC/25042005(1).pdf)

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

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC). 2006. Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2. Energía.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático. 2007. Cuarto Reporte. Resumen para tomadores de decisiones. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

Pérez-Calderón J. 2010. La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El Cotidiano*, núm. 162, julio-agosto, pp. 91-97.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2003. Informe de Desarrollo Humano 2003.

Provencio E. 2005. Por una política ambiental madura. *Revista Nexos* No. 328.

Quadri, G. 1997. Teoría y práctica en política ambiental y uso de instrumentos económicos. En *Economía Ambiental: lecciones de América Latina*. SEMARNAP., México D.F.

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<sub>2</sub> emissions by income group in Mexico. *Energy for Sustainable Development*. *Energy for Sustainable Development* 14 (2): 127-133

Secretaría de Energía. 2011. Sistema de Información Energética (SIE-SENER), disponible en <http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

SEMARNAT- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Sheinbaum, C. 1998. Eficiencia energética y fuentes renovables en Barba, R. (Coord. y comp.), *La Guía Ambiental* (pp. 353-362). Unión de grupos Ambientalistas, I.A.P. México.

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.; Robles, G. 2008. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 2006. Informe final. Energía. México: INE.

Sheinbaum C., García C., Solís JC., Chávez C. 2009. Escenarios de Consumo de Energía y Emisiones de GEI del transporte de pasajeros en la ZMVM. Informe final que presenta el Instituto de Ingeniería al centro Virtual de Cambio Climático. UNAM y ICTDF.

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

Sheinbaum C. 2011. Evaluación del Programa Especial de Cambio Climático para escenario de emisión y mitigación de gases de efecto invernadero en la categoría de energía. Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM.

Sims, R.E.H. , Schock, R.N., Adegbulugbe, A., Fenhann, J., Konstantinaviciute, I. , Moomaw, W. , Nimir, H.B. , Schlamadinger, B. 2007. Energy Supply In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Suárez, J. 2002. Metodología de Sistemas Suaves. Facultad de Ingeniería. División de Estudios de Posgrado. Departamento de Sistemas.

United Nations Environment Program (UNEP). 1994. Greenhouse Gas Abatement Costing Studies. Denmark.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2012. Clean Development Mechanism. Executive Board Annual Report 2012.

UNSW (University of New South Wales) (2009), *The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science*, I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindenschadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck and A.J. Weaver (eds.), The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia.

US Energy Protection Agency. 2011. Fuel Economy. <http://www.fueleconomy.gov/>

US Energy Protection Agency. 2011. Energy Star Programm. <http://www.energystar.gov/>

VHK (Van Holsteijn en Kemna) (2007a), *Eco-design of Boilers: Task 2 Report*, VHK, Delft.

Worrell E. 2011. The Next Frontier to Realize Industrial Energy Efficiency. World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden Industrial Energy Efficiency (IEE) 8-13 May 2011, Linköping, Sweden.

World Steel Association. 2009. Steel Statistical Yearbook 2009, Committee on Economic Studies, World Steel Association, Brussels.

---

## GLOSARIO

**Adaptación al cambio climático:** Ajustes en los sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos o efectos climáticos reales o estimados, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

**Adicionalidad:** Condición impuesta a los proyectos financiados bajo el esquema del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que se refiere al incremento esperado en la reducción de emisiones de carbono equivalente por realizar un proyecto MDL respecto a la reducción de emisiones que se producirían sin el incentivo financiero y técnico del MDL.

Así, el parámetro de referencia para medir la adicionalidad es el valor estimado de las emisiones de la actividad “sin proyecto”.

Esta condición se impuso dada la globalidad del cambio climático y considera que la venta de compensaciones de un proyecto MDL que no posea adicionalidad puede implicar un aumento de las emisiones a la atmósfera respecto a aquellas que se darían si el comprador de la compensación redujera directamente sus propias emisiones.

**Antropogénico:** Efecto ocasionado directamente por acciones humanas.

**Atmósfera:** Cubierta gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está formada casi en su integridad por nitrógeno y por oxígeno, junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como argón, helio, y gases radiativos de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el ozono. Además, contiene vapor de agua, con una cantidad variable pero pequeña, nubes y aerosoles.

**Biocombustible:** Combustible sustituto de los combustibles fósiles, producido a partir de materia orgánica o grasas vegetales o animales.

**Biósfera (terrestre y marina):** Parte del sistema terrestre que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos en la atmósfera, en la tierra (biósfera terrestre), o en los océanos (biósfera marina), incluida materia orgánica muerta derivada (por ejemplo, basura, materia orgánica en suelos y desechos oceánicos).

Bióxido o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Gas que se produce de forma natural y antropogénica (como subproducto de la quema de combustibles fósiles, la biomasa, o por el cambio de uso de la tierra o por procesos industriales). Es el principal gas de efecto invernadero que afecta al equilibrio de radiación del planeta. Es el gas de referencia para medir otros GEI y, por lo tanto, tiene un potencial de calentamiento mundial de 1.

Bióxido o dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e): Expresión de una mezcla de distintos GEI emitidos o almacenados. Dado que los diferentes GEI inciden de manera diferente en el clima, se buscó un sistema de equivalencia cuya referencia es el CO<sub>2</sub>. De tal forma que, la emisión de metano a la atmósfera representa cerca de 20 veces, el efecto de calentamiento de una emisión de CO<sub>2</sub>.

Capacidad de adaptación al cambio climático: Capacidad de un sistema para ajustarse a la variabilidad y los fenómenos climáticos extremos a través del aprovechamiento de las oportunidades, la moderación de los posibles daños y el enfrentamiento de las consecuencias.

Captura y almacenamiento del carbono (CAC): Proceso por el cual se separa el CO<sub>2</sub> derivado de fuentes industriales y relacionadas con la energía, el transporte a un lugar de almacenamiento y el aislamiento de la atmósfera a largo plazo.

Combustibles fósiles: Combustibles basados en carbono proveniente de depósitos de carbono fósil, incluidos el carbón, petróleo y el gas natural.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): Convención adoptada en mayo de 1992 cuyo objetivo básico es la “estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”.

Costos de transacción: Costos adicionales al precio de bienes o servicios asociados a su intercambio, por ejemplo aquél asociado a la vigilancia del cumplimiento de una norma.

**Energía:** En el ámbito de la física, es la capacidad para realizar un trabajo (transformación o movimiento). Esta capacidad puede manifestarse en la forma de movimiento (cinética), posición (potencial), calor (térmica), electricidad, radiaciones, etc.

**Fondo de Adaptación:** El Fondo de Adaptación se creó para financiar proyectos y programas concretos de adaptación en los países en desarrollo que son Partes en el Protocolo de Kioto. Se financia con una parte de los fondos que el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) recibe de otras fuentes.

**Fuente de energía:** Todo bien natural o artificial del que se puede obtener energía en cualquiera de sus formas o manifestaciones. Para efecto de las estadísticas energéticas, la energía se mide de diferente manera según su fuente. La proveniente de fuentes combustibles (sólidas, líquidas o gases) es medida en unidades físicas de masa o de volumen; o en unidades energéticas que expresan su capacidad de producir calor por combustión. La que se obtiene de fuentes no combustibles, como la solar, geotérmica, hidráulica y eólica se expresa en unidades energéticas de acuerdo a su capacidad de generar electricidad o calor.

**Gas de efecto invernadero (GEI):** Todo gas atmosférico que causa cambios climáticos al atrapar el calor del sol en la atmósfera terrestre y producir con ello, un efecto invernadero. Los GEI más comunes son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el ozono (O<sub>3</sub>) y el vapor de agua (H<sub>2</sub>O).

**Geoingeniería:** La ingeniería a gran escala empleada para combatir o contrarrestar los efectos del cambio climático. Las medidas propuestas comprenden la inyección de partículas en la alta atmósfera para reflejar la luz del sol y la fertilización de los océanos con hierro para aumentar la absorción de CO<sub>2</sub> por las algas.

**Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL):** Mecanismo establecido por el Protocolo de Kioto en virtud del cual los países desarrollados pueden financiar proyectos que reduzcan o impidan la emisión de GEI en los países en desarrollo y en consecuencia a cambio reciben créditos que pueden aplicar para cumplir con los límites obligatorios impuestos a sus

propias emisiones. En el marco del MDL se permite llevar a cabo proyectos de reducción de emisiones de GEI en países signatarios que no tienen un nivel fijado de emisiones en virtud del Protocolo de Kioto.

Mitigación: Intervención humana para reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (PICC): Grupo de expertos formado en 1988 por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que examina las obras científicas y técnicas publicadas en todo el mundo y publica informes de evaluación que son ampliamente reconocidos como las fuentes más confiables de información existentes acerca del cambio climático. También elabora metodologías y responde a solicitudes específicas de los órganos subsidiarios de la CMNUCC.

Huella de carbono: Cantidad de emisiones de carbono asociadas a una actividad en particular o a todas las actividades de una persona u organización. Su medición varía en función de la metodología empleada. La huella de carbono puede medirse de muchas maneras, y puede comprender las emisiones indirectas generadas en toda la cadena de producción de los insumos de una actividad.

Incertidumbre: Expresión del grado de desconocimiento del valor futuro de una variable que viene dado por falta de información o por desacuerdo respecto a lo que es susceptible de conocerse, e incluso hasta de lo que se conoce. La representación cuantitativa generalmente involucra simulaciones variadas que producen un rango de los posibles valores de la variable en cuestión así como la estimación de errores. El PICC ha estudiado y estimado diferentes factores de incertidumbre en función de la calidad de la información empleada para la estimación de los inventarios de emisión.

Poder o valor calórico: Cantidad de calor por unidad de masa que es capaz de producir una fuente material al hacer combustión.

## ANEXOS

**Anexo 1. Actividades consideradas en los inventarios de emisiones estatales**

Están marcadas con gris aquellas que, en la medida que la información lo permita, deben considerarse en los inventarios estatales.

Tabla A.1.1 Actividades energéticas y potenciales emisiones de GEI

| Categoría de emisión   | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
|--|-----------------|-----------------|------------------|
| 1A Quema de combustibles   |                 |                 |                  |
| 1A1 Industrias de la energía                                     |                 |                 |                  |
| 1A1a Producción de electricidad y calor                          |                 |                 |                  |
| 1A1ai Generación de electricidad                                 | X               | X               | X                |
| 1A1aii Generación combinada de calor y electricidad (CHP)        | X               | X               | X                |
| 1A1aiii Plantas generadoras de calor                             | X               | X               | X                |
| 1A1b Refinación de petróleo                                      | X               | X               | X                |
| 1A1c Combustibles sólidos  |                 |                 |                  |
| 1A1ci Manufactura de combustibles sólidos (p.ej. Coque)          | X               | X               | X                |
| 1A1cii Otras industrias de la energía (p.ej. Carbón vegetal)     | X               | X               | X                |
| 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción               |                 |                 |                  |
| 1A2a Hierro y acero  | X               | X               | X                |
| 1A2b Metales no ferrosos   | X               | X               | X                |
| 1A2c Sustancias químicas   | X               | X               | X                |
| 1A2d Pulpa, papel e imprenta                                     | X               | X               | X                |
| 1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco                | X               | X               | X                |
| 1A2f Minerales no metálicos                                      | X               | X               | X                |
| 1A2g Equipo de transporte  | X               | X               | X                |
| 1A2h Maquinaria  | X               | X               | X                |
| 1A2i Minería (con excepción de combustibles)                     | X               | X               | X                |
| 1A2j Madera y productos de madera                                | X               | X               | X                |
| 1A2k Construcción  | X               | X               | X                |
| 1A2l Textiles y cueros   | X               | X               | X                |
| 1A2m Industria no especificada                                   | X               | X               | X                |
| 1A3 Transporte   |                 |                 |                  |
| 1A3a Aviación civil  |                 |                 |                  |
| 1A3ai Aviación internacional                                     | X               | X               | X                |
| 1A3aii Aviación de cabotaje                                      | X               | X               | X                |
| 1A3b Transporte terrestre  |                 |                 |                  |
| 1A3bi Automóviles (por tecnología de control)                    | X               | X               | X                |
| 1A3bii Camiones para servicio ligero (por tecnología de control) | X               | X               | X                |
| 1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses                | X               | X               | X                |
| 1A3b iv Motocicletas   | X               | X               | X                |
| 1A3b v Por evaporación procedentes de vehículos                  | X               | X               | X                |
| 1A3b vi Catalizadores basados en urea                            | X               | X               | X                |
| 1A3c Ferrocarriles   | X               | X               | X                |
| 1A3d Navegación marítima y fluvial                               |                 |                 |                  |
| 1A3di Navegación internacional                                   | X               | X               | X                |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| 1A3dii Navegación nacional                                   | X | X | X |
| 1A3e Otro transporte   |   |   |   |
| 1A3ei Ductos   | X | X | X |
| 1A3eii Todo terreno  | X | X | X |
| 1A4 Otros sectores   | X | X | X |
| 1A4a Comercial institucional                                 | X | X | X |
| 1A4b Residencial   | X | X | X |
| 1A4c Agricultura/Silvicultura/Pesca                          |   |   |   |
| 1A4ci Estacionaria   | X | X | X |
| 1A4cii Todo terreno  | X | X | X |
| 1A4ciii Pesca  | X | X | X |
| 1A5 No especificado  | X | X | X |
| 1B Emisiones fugitivas                                       |   |   |   |
| 1B1 Combustibles sólidos                                     | X | X | X |
| 1B1a Minería del carbón                                      |   |   |   |
| 1B1ai Minas subterráneas                                     |   |   |   |
| 1B1ai1 Minería   | X | X | X |
| 1B1ai2 Gas de carbono  |   | X |   |
| 1B1ai3 Minas abandonadas                                     | X | X | X |
| 1B1ai4 Quema de metano                                       | X | X |   |
| 1B1b Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón | X | X | X |
| 1B2 Petróleo y gas natural                                   |   |   |   |
| 1B2a Petróleo  |   |   |   |
| 1B2ai Venteo   |   | X |   |
| 1B2aii Quema en antorcha                                     | X |   |   |
| 1B2aiii Todos los demás                                      |   |   |   |
| 1B2aiii1 Exploración   |   | X |   |
| 1B2aiii2 Producción  |   | X |   |
| 1B2aiii3 Refinación  |   | X |   |
| 1B2aiii4 Transporte  |   | X |   |
| 1B2b Gas natural   |   |   |   |
| 1B2bi Venteo   |   | X |   |
| 1B2bii Quema en antorcha                                     | X | X |   |
| 1B2biii Todos los demás                                      | X | X |   |
| 1B3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía | X | X |   |
| 1C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono         |   |   |   |
| 1C1 Transporte de CO2  |   |   |   |
| 1C1a Gasoductos  | X | X |   |
| 1C1b Embarcaciones   | X | X |   |
| 1C1c Otros   | X | X |   |
| 1C2 Inyecciones y almacenamiento                             |   |   |   |
| 1C2a Inyección   | X | X |   |
| 1C2b Almacenamiento  | X | X |   |
| 1C3 Otros  | X | X |   |

Fuente: Adecuación a PICC, 2006b

## Anexo 2. Factor de emisión eléctrico 2009 al 2024

Tabla A.2.1 Factor de emisión eléctrico promedio a nivel nacional 2005-2009

| Consumo de combustibles para generación eléctrica (PJ) | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Carbón   | 327.45 | 317.10 | 314.26 | 216.60 | 294.83 |
| Diesel   | 13.74  | 14.44  | 8.35   | 10.44  | 15.32  |
| Combustóleo  | 624.55 | 501.37 | 439.44 | 440.44 | 401.69 |
| Gas natural  | 632.00 | 775.75 | 860.93 | 917.04 | 971.86 |
| Nucleoeléctrica  | 117.88 | 119.42 | 114.49 | 106.64 | 112.75 |
| Hidroeléctrica   | 99.40  | 109.10 | 97.35  | 140.01 | 95.20  |
| Geoenergía   | 168.44 | 154.27 | 170.86 | 162.83 | 155.53 |
| Eólica   | 0.04   | 0.18   | 0.91   | 0.94   | 0.91   |

| Factores de emisión (Kg/TJ)           | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |        |        |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------|--------|
| Carbón                                | 98300           | 10              | 1.5              |        |        |
| Diesel                                | 74100           | 3               | 0.6              |        |        |
| Combustóleo                           | 77400           | 3               | 0.6              |        |        |
| Gas natural                           | 56100           | 1               | 0.1              |        |        |
| Producción bruta de electricidad (PJ) | 788.30          | 810.28          | 837.19           | 849.14 | 846.38 |
| Factor de emisión eléctrico (ton/TJ)  |                 |                 |                  |        |        |
| FE CO <sub>2</sub>                    | 168.7           | 160.7           | 154.5            | 144.0  | 155.4  |
| FE CH <sub>4</sub>                    | 0.0084          | 0.0077          | 0.0073           | 0.0059 | 0.0069 |
| FE N <sub>2</sub> O                   | 0.0014          | 0.0012          | 0.0011           | 0.0009 | 0.0011 |
| FE CO <sub>2 eq</sub>                 | 169.3           | 161.2           | 155.0            | 144.4  | 155.9  |

Fuente: Sistema de información energético (SIE-SENER, 2011) e PICC (2006b).

Pérdidas por transmisión, 12%.

Tabla A.2.2. Factor de emisión eléctrico nacional 2010-2018 de acuerdo con el POISE 2010

|      | Carbón PJ | Diesel PJ | Combustóleo PJ | Gas natural PJ | Generación bruta | tCO <sub>2</sub> /TJ | tCH <sub>4</sub> /TJ | tN <sub>2</sub> O/TJ |
|------|-----------|-----------|----------------|----------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2009 | 294.8     | 15.3      | 401.7          | 971.9          | 846.9            | 155.3                | 0.0069               | 0.0011               |
| 2010 | 304.9     | 9.8       | 451.3          | 1064.9         | 926.4            | 153.8                | 0.0067               | 0.001                |
| 2011 | 304.9     | 10.2      | 445.9          | 1071.9         | 932.5            | 152.8                | 0.0067               | 0.001                |
| 2012 | 304.9     | 12.9      | 445.9          | 1083.1         | 946.2            | 151.6                | 0.0066               | 0.001                |
| 2013 | 304.9     | 14.8      | 418.9          | 1177.9         | 981.6            | 150                  | 0.0064               | 0.001                |
| 2014 | 304.9     | 15.2      | 408.1          | 1186.8         | 983.9            | 149.3                | 0.0064               | 0.001                |
| 2015 | 304.9     | 19.1      | 396.7          | 1291.1         | 1030.4           | 148.4                | 0.0062               | 0.0009               |
| 2016 | 304.9     | 19.1      | 369.9          | 1358.7         | 1052.9           | 147                  | 0.006                | 0.0009               |
| 2017 | 304.9     | 19.1      | 354.8          | 1432.8         | 1082.2           | 146.2                | 0.0059               | 0.0009               |
| 2018 | 304.9     | 19.1      | 354.8          | 1585.8         | 1157.1           | 145.2                | 0.0057               | 0.0008               |
| 2019 | 304.9     | 23.3      | 343.4          | 1651.7         | 1187.9           | 144.4                | 0.0055               | 0.0008               |
| 2020 | 304.9     | 23.3      | 274.2          | 1822.5         | 1250.3           | 141                  | 0.0052               | 0.0007               |
| 2021 | 391.4     | 23.3      | 228.5          | 1903.7         | 1316.8           | 142.1                | 0.0057               | 0.0008               |
| 2022 | 391.4     | 23.6      | 217.6          | 1997.9         | 1357             | 141.7                | 0.0056               | 0.0008               |
| 2023 | 434.7     | 23.6      | 217.6          | 2100.9         | 1428             | 142.6                | 0.0057               | 0.0008               |
| 2024 | 478       | 23.6      | 217.6          | 2155.8         | 1471.1           | 144.1                | 0.0059               | 0.0008               |

Fuente: Elaboración propia con base en capacidad instalada, factor de operación y eficiencias del Programa de Obras del Sector Eléctrico (POISE-CFE, 2010). Considera pérdidas del 12%

FE: Factor de emisión

### Anexo 3. Indicadores nacionales

Tabla A.3.1 Intensidades energéticas nacionales

| Año  | Comercial<br>(KJ/1993<br>pesos) | Industrial<br>(KJ/1993<br>pesos) | Agropecuario<br>(KJ/1993<br>pesos) | Público<br>(MJ/hab) |
|------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 2000 | 107.63                          | 516.50                           | 429.16                             | 214.78              |
| 2001 | 110.55                          | 496.57                           | 396.60                             | 215.64              |
| 2002 | 115.31                          | 510.12                           | 387.23                             | 216.08              |
| 2003 | 107.72                          | 500.55                           | 394.64                             | 217.02              |
| 2004 | 100.92                          | 538.92                           | 405.06                             | 219.77              |
| 2005 | 93.98                           | 526.00                           | 429.51                             | 223.38              |
| 2006 | 94.08                           | 519.09                           | 417.55                             | 226.42              |
| 2007 | 91.75                           | 528.82                           | 431.66                             | 231.71              |
| 2008 | 89.65                           | 520.64                           | 460.55                             | 238.71              |

Comercial, industrial y agropecuario (consumo de energía entre el PIB del sector)

#### A.3.2 Consumos unitarios de energía sector residencial

| Equipo  | Consumo<br>(2006) |
|---|-------------------|
| Estufa de gas LP (MJ/equipo/año)                  | 8.1               |
| Estufa de gas natural (MJ/equipo/año)             | 8.1               |
| Calentador de GLP (MJ/equipo/año)                 | 7.8               |
| Calentador de gas natural (MJ/equipo/año)         | 7.8               |
| Iluminación (KWh/hogar)*                          |                   |
| TV (kWh/equipo/año)                               | 153               |
| Refrigerador (kWh/equipo/año)                     | 616               |
| Lavadora de ropa (kWh/equipo/año)                 | 154               |
| Aire acondicionado individual<br>(kWh/equipo/año) | 2042              |

\*Datos de cálculo de iluminación: focos por hogar: 6.7; operación: 3 horas/día (16.4 incandescentes  $\leq$  25 watts; 59.8% incandescentes  $<$  25 watts  $\leq$  100 watts; Tubo fluorescente 50 watts: 10.3%; LCF: 13.5%).

Fuente: Rosas et al (2010)

## A 3.3 Rendimientos vehiculares para automóviles de pasajeros

| Año  | Subcompacto |      | Compacto |      | Deportivo |      | De Lujo |      | Camionetas |      | General |      | Cominado |
|------|-------------|------|----------|------|-----------|------|---------|------|------------|------|---------|------|----------|
|      | RVCi        | RVCa | RVCi     | RVCa | RVCi      | RVCa | RVCi    | RVCa | RVCi       | RVCa | RVCi    | RVCa |          |
| 2000 | 11.2        | 13.7 | 9.3      | 12.4 | 8.4       | 12.2 | 7.9     | 11.1 | 6.4        | 8.5  | 9.6     | 12.3 | 10.6     |
| 2001 | 11.3        | 13.9 | 9.5      | 12.6 | 9.0       | 13.1 | 8.0     | 11.3 | 6.6        | 8.6  | 9.8     | 12.6 | 10.9     |
| 2002 | 11.3        | 13.8 | 9.6      | 12.9 | 8.5       | 12.6 | 8.1     | 11.4 | 6.7        | 8.9  | 10.0    | 12.7 | 11.0     |
| 2003 | 11.3        | 14.0 | 9.6      | 12.9 | 8.4       | 12.5 | 8.3     | 11.8 | 7.2        | 9.5  | 10.1    | 12.9 | 11.2     |
| 2004 | 11.3        | 13.8 | 9.5      | 12.6 | 8.2       | 12.3 | 8.3     | 11.7 | 7.4        | 9.7  | 10.0    | 12.7 | 11.0     |
| 2005 | 11.6        | 13.9 | 9.5      | 12.7 | 8.4       | 11.7 | 8.4     | 11.9 | 7.5        | 9.8  | 10.0    | 12.6 | 11.0     |
| 2006 | 11.7        | 14.3 | 9.5      | 12.9 | 8.2       | 12.2 | 8.3     | 11.9 | 7.4        | 9.7  | 9.8     | 12.6 | 10.9     |
| 2007 | 11.8        | 14.6 | 9.6      | 13.1 | 8.4       | 12.1 | 8.5     | 12.3 | 7.4        | 9.8  | 9.8     | 12.8 | 10.9     |
| 2008 | 11.7        | 14.7 | 9.5      | 13.1 | 8.4       | 12.2 | 8.4     | 12.1 | 7.4        | 9.9  | 9.8     | 12.9 | 11.0     |

Fuente: Promedio pesado de ventas por año modelo y rendimiento vehicular por año. Las ventas son de INEGI (1994, 2010). El rendimiento vehicular por año modelo es de EPA (2010). Sheinbaum y Chávez (2011).

Nota: RVCi, Rendimiento vehicular de ciudad; RVCa, Rendimiento vehicular en carretera

$$\text{Cominado} = \frac{1}{\frac{0.55}{RVCi} + \frac{0.45}{RVCa}}$$

## A.3.4 Rendimientos vehiculares para transporte

|                        | 2005  | 2006  | 2007  |
|------------------------|-------|-------|-------|
| TRANSPORTE PÚBLICO     |       |       |       |
| Taxi                   | 11.99 | 12.05 | 12.11 |
| Combis                 | 7.56  | 7.63  | 7.67  |
| Microbuses - Gasolina  | 2.00  | 2.00  | 2.00  |
| Microbuses - GLP       | 1.40  | 1.40  | 1.40  |
| Midibuses-Diesel       | 2.65  | 2.64  | 2.63  |
| Concesionados y Pasaje | 1.79  | 1.79  | 1.80  |

|                                   | 2005 | 2006 | 2007 |
|-----------------------------------|------|------|------|
| RTP                               | 1.79 | 1.79 | 1.80 |
| BRT                               | 1.79 | 1.79 | 1.80 |
| TRANSPORTE DE CARGA               |      |      |      |
| Clases 1 a 3                      | 7.38 | 7.41 | 7.43 |
| Clases 4 a 8                      | 3.20 | 3.21 | 3.22 |
| Tractocamiones locales            | 2.56 | 2.57 | 2.58 |
| TRANSPORTE PÚBLICO FEDERAL        |      |      |      |
| Automóviles FEDERALES             | 8.86 | 8.86 | 8.85 |
| Camionetas Federales              | 7.56 | 7.63 | 7.67 |
| Microbús (federal)                | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Midibus (federal)                 | 2.65 | 2.64 | 2.63 |
| Camiones de pasajeros (federales) | 3.21 | 3.21 | 3.22 |
| Camión 2ejes (federal)            | 3.20 | 3.21 | 3.22 |
| Camión 3 y 4 ejes (federal)       | 3.20 | 3.21 | 3.22 |
| Tractocamión ejes (federal)       | 2.56 | 2.57 | 2.58 |
|                                   |      |      |      |
| CH.PAS.CLASE 4 a la 8             | 3.22 | 3.23 | 3.24 |

Fuente: Solís JC. Tesis de doctorado. Energía. UNAM

### A.3. 5 Distancia recorrida

| Tipo/Segmento             | KRV (km) | Días en circulación | Recorrido anual por vehículo (Km) | Fuente de Información | Observaciones   |
|---------------------------|----------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| Motocicletas              | 79.0     | 365                 | 28,835                            | IECC-ZMVM 2006        |   |
| <i>VEHICULOS PRIVADOS</i> |          |                     |                                   |                       |   |
| Subcompactos              | 35.0     | 365                 | 12,775                            | IECC-ZMVM 2006        | Se consideró una distribución uniforme, para todos los años-modelo, de 35km diarios, correspondientes en el IECC-ZMVM 2006 al recorrido promedio máximo |
| Compactos                 | 35.0     | 365                 | 12,775                            |                       |   |
| Deportivos                | 35.0     | 365                 | 12,775                            |                       |   |
| Lujo                      | 35.0     | 365                 | 12,775                            |                       |   |
| Usos Múltiples            | 35.0     | 365                 | 12,775                            |                       |   |

| Tipo/Segmento                     | KRV (km) | Días en circulación | Recorrido anual por vehículo (Km) | Fuente de Información | Observaciones  |
|-----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|--|
| <i>TRANSPORTE DE CARGA URBANO</i> |          |                     |                                   |                       |  |
| Clases 1 a 3                      | 65.4     | 365                 | 23,871                            | IECC-ZMVM 2006        | Considerado como la actividad de los vehículos menores a 3 toneladas |
| Clases 4 a 8                      | 62.8     | 365                 | 22,922                            | IECC-ZMVM 2006        | Considerado como la actividad de los vehículos mayores a 3 toneladas |
| Tractocamiones locales            | 62.8     | 365                 | 22,922                            | IECC-ZMVM 2006        |  |

AEEUM 2009: Datos del anuario estadístico de los EUM 2009-Inegi con fuente en sct

BDETAN: Base de Datos Estadísticas de Transporte de América del Norte, disponible en <http://nats.sct.gob.mx> (Instituto Mexicano del Transporte; Instituto Nacional de Estadística y Geografía; Secretaría de Comunicaciones y Transportes.)

Fuente: Solís JC. Tesis de doctorado. Energía. UNAM.

| Tipo/Segmento                     | KRV (km) | Días en circulación | Recorrido anual por vehículo (Km) | Observaciones   |
|-----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------------|---|
| <b>TRANSPORTE PÚBLICO FEDERAL</b> |          |                     |                                   |   |
| Automóviles FEDERALES             | 266.8    | 365                 | 97,371                            |   |
| Camionetas Federales              | 266.8    | 365                 | 97,371                            | Por falta de información se consideró igual a la de los autobuses |
| Microbús (federal)                | 266.8    | 365                 | 97,371                            |   |
| Midibus (federal)                 | 266.8    | 365                 | 97,371                            |   |
| Camiones de pasajeros (federales) | 266.8    | 365                 | 97,371                            |   |
| Camión 2 ejes (federal)           | 197.0    | 365                 | 71,916                            | Se dividió los vehículo-km entre el número de camiones unitarios  |
| Camión 3 y 4 ejes (federal)       | 197.0    | 365                 | 71,916                            |   |
| Tractocamión (federal)            | 166.2    | 365                 | 60,660                            | Se dividió los vehículo-km entre el número de camiones unitarios  |

Fuente: Solís JC. Tesis de doctorado. Maestría en energía. UNAM

#### **Anexo 4. Programas orientados a la mitigación de GEI**

A continuación se reseña una serie de programas o proyectos de carácter público o mixto, a los que pueden recurrir los gobiernos estatales o locales para buscar apoyo en la promoción y ejecución de acciones para la mitigación de GEI en sus entidades.

No se hace una valoración crítica de ninguno de ellos, tan sólo se mencionan.

##### Fondo Verde

Es un mecanismo financiero que busca incentivar proyectos de generación con energías renovables en el marco del Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE), que comenzó su etapa de implementación durante 2008.

El mecanismo consiste en un incentivo al desempeño de la tecnología adoptada, es decir, por energía generada y lo otorga directamente Nacional Financiera (NAFIN) a los productores quienes concursan por él, a través de una licitación bajo la modalidad de productor independiente. Cada proyecto ganador recibirá un incentivo fijo por 5 años que irá disminuyendo en las rondas sucesivas de licitaciones.

En su primera fase el Fondo Verde destinó 20 millones de dólares para la construcción del parque eólico de La Venta III y 5 millones para asistencia técnica. La segunda fase cuenta con 45 millones de dólares íntegramente para el Fondo Verde.

##### Hipoteca Verde

La Hipoteca Verde es un monto adicional al crédito Infonavit para que el derechohabiente pueda comprar una vivienda que cuente con ecotecnologías que generen ahorros en el gasto familiar por la disminución en el consumo de energía eléctrica, agua y gas.

A partir de 2011, las viviendas que se formalicen con créditos del Instituto, para vivienda nueva, usada, remodelación, ampliación y construcción en terreno propio, deberán contar

con eco tecnologías. Con la finalidad de extender los beneficios de la Hipoteca Verde a todos los acreditados (<http://portal.infonavit.org.mx/>).

De acuerdo con el INFONAVIT los beneficios de la Hipoteca Verde son:

- Reducción del gasto familiar en el consumo de luz, gas y agua que le generan una mayor capacidad de pago al acreditado
- Mejoramiento de la calidad del medio ambiente, al disminuir la contaminación por CO<sub>2</sub>.
- Aseguramiento de recursos naturales para generaciones futuras.
- Incentivar una cultura de ahorro y respeto ambiental
- Mejor calidad de vida.

### Programa México GEI

Es un programa nacional que promueve en las empresas la contabilidad y reporte de sus emisiones, de manera voluntaria.

Las organizaciones participantes se comprometen a contabilizar y reportar públicamente sus emisiones de GEI y a diseñar proyectos de mitigación de GEI. La contabilización y el reporte se basa en los estándares y herramientas desarrollados por la Iniciativa del Protocolo GEI ([www.ghgprotocol.org](http://www.ghgprotocol.org)).

El Programa ofrece:

- Cursos de capacitación en los estándares y herramientas del Protocolo GEI.
- Herramientas de cálculo adaptadas a la industria mexicana, talleres prácticos y apoyo técnico.
- Vínculos a programas de GEI voluntarios y obligatorios.
- Alianzas con agencias gubernamentales, asociaciones industriales, y ONGs internacionales.

El Programa GEI México es coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), con el soporte técnico del Instituto Mundial de Recursos (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable o World Business Council for Sustainable Development, (WBCSD).

A ocho años de su lanzamiento, el 40% de las empresas cuenta con alguna estrategia de reducción de emisiones de GEI. Algunas de esas empresas han logrado la participación en mercados de carbono.

En el año 2011, México GEI lanzó un nuevo esquema de reconocimiento para promover que las empresas que participan desarrollen de forma progresiva su estrategia para mejorar su desempeño ambiental y climático a través de:

- a) Contabilidad, reporte y publicación de inventarios de emisiones de GEI,
- b) Verificación de la tercera parte de su inventario GEI,
- c) Control de emisiones y reporte del progreso.

#### Programa de electrificación rural con energías renovables.

Es un programa de la Secretaría de Energía cuyo objetivo es dotar del servicio de energía eléctrica por medio del uso de fuentes renovables a 50,000 viviendas (aproximadamente 250,000 habitantes) en las comunidades rurales más pobres del país, ubicadas dentro de los 100 municipios con menor Índice de Desarrollo Humano. La energía eléctrica podrá ser destinada tanto para consumo doméstico como para detonar actividades productivas relacionadas con las vocaciones naturales de las comunidades.

El programa inició en 2009 y su primera fase de ejecución se programó para los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

Los principales criterios que deben cumplir las comunidades rurales para concursar por el programa:

- Contar con una población comprendida entre 100 y 2,500 habitantes.
- Pertener o ser uno de los 100 municipios con menor Índice de Desarrollo Humano.
- Estar al menos a 5 kilómetros de distancia de las redes eléctricas de distribución convencionales.
- No estar consideradas en los proyectos (al menos a 5 años) de expansión de la red de la CFE o en proyectos similares patrocinados por dependencias federales o estatales.
- Manifestar el interés de participar y aceptar las condiciones del programa.
- Tener el respaldo del estado y el municipio al que pertenecen, ya que estos deberán realizar ciertas aportaciones económicas.
- Contar con la disposición de la comunidad de apoyar en los procesos sociales, técnicos, de instalación de los sistemas de generación de energía eléctrica con fuentes alternas y su mantenimiento.

La comunidad o municipio podrá manifestar el interés de participar ante las oficinas de los Gobiernos estatales o de las delegaciones estatales de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) o el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

Los gobiernos estatales participantes cuentan con una oficina responsable de la operación del programa y formarán un comité estatal a través del cual se propondrán las comunidades a ser electrificadas con energías renovables. Los proyectos serán autorizados por los comités que se formen tanto a nivel estatal como federal.

---

Programa para la promoción de Calentadores Solares de Agua –PROCALSOL- (2007-2012)

PROCALSOL fue presentado en agosto de 2007 por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en colaboración con la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ por sus siglas en alemán) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) con la finalidad de apoyar las acciones que se realizan en México para fomentar y ampliar el uso de los calentadores solares.

Los objetivos específicos del programa son:

- Impulsar el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua.
- Garantizar que el crecimiento del mercado de productos y servicios asociados al calentamiento solar se lleve a cabo con un nivel de calidad adecuado.
- Favorecer el desarrollo de la industria nacional de calentadores solares (fabricantes, diseñadores de sistemas, distribuidores e instaladores de equipos).
- Promover la adopción de tecnología desarrollada por los centros de investigación nacionales.

El programa apoyará las aplicaciones del calentamiento solar de agua en los sectores residencial, comercial, industrial y de agronegocios de todo el país, con énfasis en las que tengan la mayor rentabilidad social, y se llevará a cabo considerando cinco conjuntos de instrumentos:

- Regulación.
- Financiamiento e incentivos económicos.
- Capacitación.
- Promoción y difusión.
- Gestión.

En términos de financiamiento ofrece:

- Incorporación de proyectos de instalación de calentadores solares en establecimientos de agronegocios dentro del FIRCO.
- Subsidio parcial a la compra de calentadores solares de agua a derechohabientes del Infonavit que adquieran una vivienda ecológica en el marco de Hipoteca verde. El programa otorgará 25 mil subsidios hasta junio del 2012. Los calentadores solares deben cumplir con el Dictamen de Idoneidad Técnico (DIT) que asegure su correcto funcionamiento.

### Programas del FIDE

El fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica (FIDE) promueve diferentes programas y proyectos que faciliten la vinculación entre la innovación tecnológica y la demanda para lograr un mercado natural para las tecnologías eficientes.

Los programas vigentes<sup>5</sup> son: Nuevas tecnologías, Micro-generación y energías renovables, Cambia tu viejo por uno nuevo, Comercios y servicios, Industria y Municipios.

#### Nuevas tecnologías.

El objetivo de este programa es promover el uso de nuevas tecnologías o sistemas de alta eficiencia en el sector empresarial.

El programa consiste en el financiamiento de la inversión total de proyectos de desarrollo tecnológico y de uso de tecnologías de punta que propicien reducir el consumo de electricidad a través de la mejora de procesos o usos finales de la energía, específicamente:

- Sistemas de iluminación.
- Mejora de productos ahorradores de energía.

Los proyectos podrán ser presentados por empresas privadas del sector industrial, comercial y de servicios.

---

<sup>5</sup> [http://fide.codice.com/home/interior.asp?cve\\_cont=122](http://fide.codice.com/home/interior.asp?cve_cont=122)

---

### Micro-generación y energías renovables

Este programa promueve el uso por parte del sector productivo, de energías renovables a través del apoyo para la adquisición de pequeños equipos y sistemas de cogeneración.

El programa comprende el financiamiento de la inversión total de proyectos de adquisición e instalación de equipos y sistemas que usan energías renovables y alternas (hidrógeno, gas natural comprimido, gas LP, biogás, solar, eólica, hidráulica, etc.) para la micro generación y cogeneración de energía eléctrica hasta de 500 KW.

Los proyectos pueden ser presentados por empresas industriales, comerciales o de servicios.

En los dos programas referidos previamente, los apoyos son aplicables aunque se esté realizando otro tipo de proyecto. Ambos financian la totalidad del costo del proyecto a una tasa preferencial menor que la que aplica la banca comercial y con plazos de pago de hasta 5 años.

### Hogares. Cambia tu viejo por uno nuevo.

Consiste en otorgar apoyos directos y financiamiento a los usuarios de tarifas domésticas del país, para que sustituyan sus refrigeradores y equipos de aire acondicionado de más de 10 años de antigüedad por aparatos nuevos más eficientes en su consumo de energía.

El apoyo directo consiste en un bono gratuito para cubrir hasta el 50% del precio del electrodoméstico, los costos del transporte del equipo nuevo y los costos de retiro, acopio y destrucción del equipo ineficiente.

El financiamiento consiste en un crédito entre \$1,000.00 y \$8,700.00 pesos, a tasa preferencial que se cobra a través de la factura de energía eléctrica en un plazo de 4 años.

Un usuario puede solicitar el apoyo directo y el financiamiento, o sólo el financiamiento, dependiendo de su nivel de consumo.

### Comercios y servicios.

FIDE ofrece financiamiento a hoteles, restaurantes, edificios, hospitales, tiendas de autoservicio, departamentales o especializadas, almacenes, estacionamientos, oficinas, clubes deportivos, plazas comerciales, escuelas, entre otras, para apoyar la adquisición de equipos con tecnologías eficientes en el consumo de energía eléctrica, como son:

- Equipos de aire acondicionado
- Lámparas de descarga
- Balastos electrónicos
- Reflectores especulares
- Automatización
- Equipos de refrigeración
- Variadores de velocidad
- Aislamiento térmico.
- Lámparas fluorescentes lineales T-5, T-8
- Lámparas fluorescentes compactas
- Sensores de presencia.
- Control de demanda.
- Sistemas de enfriamiento de aire.
- Motores y bombas
- Transformadores
- Nuevas tecnologías (paneles fotovoltaicos, lámparas de inducción, diodos emisores de luz, etc.)

### Industria

FIDE ofrece financiamiento a empresas de mediana industria y gran industria para la adquisición de equipos con tecnologías eficientes en el consumo de energía eléctrica.

En el caso de la mediana industria se contempla la participación en el programa de empresas de las ramas química, metalmecánica, alimentos, bebidas carbonatadas, plásticos, textil, etc., cuya demanda eléctrica contratada supere los 100 kW.

Se considera empresa de la gran industria a todas aquellas con gran consumo de energía eléctrica y a los corporativos de diferentes ramas industriales como son: cemento, vidrio, siderurgia, minera, papel, automotriz, galvanoplastia, metalurgia, autopartes, etc., cuya demanda eléctrica contratada supere los 1,000 kW.

Las citadas empresas podrán solicitar el financiamiento para adquirir:

- Motores eléctricos de alta eficiencia.
- Variadores de velocidad.
- Bombas.
- Aire acondicionado.
- Aire comprimido.
- Refrigeración.
- Control de la demanda.
- Automatización y monitoreo remoto.
- Unidades generadoras de agua helada.
- Ventilación.
- Transformadores
- Lámparas fluorescentes lineales T-5, T-8
- Lámparas de vapor de sodio de alta presión
- Lámparas fluorescentes compactas
- Balastos electrónicos
- Diodos emisores de luz (LED)
- Sensores de presencia
- Reflectores especulares
- Equipos de proceso
- Aislamiento térmico
- Nuevas tecnologías (paneles fotovoltaicos, lámparas de inducción, diodos emisores de luz, etc.)

#### Municipios.

FIDE ofrece financiamiento a municipios para la adquisición de los equipos que se listan abajo que usen tecnologías eficientes en el consumo de energía eléctrica.

- Bombas de alta eficiencia
- Lámparas de vapor de sodio de alta presión
- Balastos electrónicos
- Lámpara fluorescente compacta T-5 y T-8
- Acondicionadores de aire y sistemas de refrigeración eficiente.

- Diodos emisores de luz (LED).

### Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en México (SIEPCRM)

El SIEPCRM es un proyecto conjunto de la SENER con el Banco Mundial y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), que busca impulsar la electrificación rural con base en energías renovables en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

Los recursos provendrán de una donación del GEF, a fondo perdido por \$15 millones de dólares y un préstamo del Banco Mundial por el mismo monto. Adicionalmente se buscará una coinversión de programas federales y privados. Las tecnologías contempladas en el proyecto incluyen celdas fotovoltaicas, turbinas eólicas, plantas microhidráulicas, plantas generadoras con biomasa y sistemas híbridos.

### Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal

Es un proyecto en el que participan la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), S.N.C. y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Su objetivo es impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de los sistemas de alumbrado público de los municipios que lo soliciten, por sistemas más eficientes, que demuestren un potencial importante de abatimiento del consumo.

La CONUEE ofrece una opinión técnica y financiera a los proyectos municipales de alumbrado público y la CFE actualizará los censos de carga antes y después de la modernización de los sistemas de alumbrado público, reconocerá los ahorros en la facturación de energía eléctrica resultado de la sustitución de las luminarias y recaudará, en su caso, el Derecho de Alumbrado Público. Por su parte, BANOBRAS otorgará financiamiento a los municipios que lo requieran para la ejecución de los proyectos que

recuperará a través de los ahorros económicos generados por la disminución en el consumo de energía eléctrica.

El alcance del proyecto es nacional, es decir, cualquier municipio de México puede presentar su propuesta de sustitución de luminarias del alumbrado público. Si algún municipio no contara con un proyecto propio, la CONUEE podrá presentar uno con base en el censo de carga actualizado.

#### Iniciativa de Metano a Mercados

México ha participado desde 2005 en la iniciativa Metano a Mercados (M2M por sus siglas en inglés). En 2006, SEMARNAT, USAID y US-EPA firmaron un acuerdo de cooperación técnica para la ejecución de proyectos demostrativos que permitan:

- Desarrollo de capacidades locales a través de talleres de capacitación para la implementación de proyectos.
- Incremento de la replicabilidad de proyectos desarrollados bajo la Iniciativa Mercados de Metano.
- Promoción del uso de sistemas de energías limpias a través del uso del metano recuperado.
- Promoción de proyectos potenciales a fin de atraer el interés de desarrolladores y agentes financieros, tanto nacionales como internacionales para el desarrollo de dichos proyectos

#### Programa “Luz Sustentable”

Representará la sustitución gratuita de focos tradicionales por ahorradores de energía, que implicará cambios en más de 11 millones de hogares, fundamentalmente a partir de hoy y hasta 2012.

Entre los beneficios de este programa, se calcula que evitará la emisión a la atmósfera de entre 780 mil a un millón de toneladas de dióxido de carbono al año.

También se reducirá significativamente el gasto asociado a la producción de electricidad, lo cual, por ejemplo, evitaría la construcción de una nueva central eléctrica, en un ahorro estimado de unos 13 mil millones de pesos.

La Secretaría de Energía será la encargada de llevar adelante este programa, que se espera completar integralmente hacia 2013, para que a partir de 2014 sólo se comercialicen lámparas ahorradoras de energía.

Programas de apoyo dirigidos al sector forestal

#### ProÁrbol.

Es un programa que recoge y pretende mejorar las experiencias de los anteriores programas de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) y de Servicios Ambientales del Bosque (PSAB).

ProÁrbol ordena en un solo esquema el otorgamiento de estímulos a los poseedores y propietarios de terrenos para realizar acciones encaminadas a proteger, conservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos en bosques, selvas y zonas áridas de México.

ProÁrbol contempla los siguientes conceptos de apoyo:

- a) Desarrollo Forestal. Destinado a promover el manejo forestal sustentable por medio de la elaboración de estudios para obtener la autorización de aprovechamiento maderable, no maderable, de la vida silvestre y para la obtención de germoplasma forestal, la ejecución de las acciones de cultivo forestal que se establezcan en los estudios y programas de manejo prediales, así como, el fortalecimiento de la infraestructura y equipamiento para la producción de materias primas forestales y el apoyo a los

procesos de certificación forestal. También incluye apoyos destinados al establecimiento y mantenimiento inicial, y la asistencia técnica de plantaciones forestales comerciales.

- b) Conservación y restauración: Destinados a la ejecución de proyectos de reforestación, conservación y restauración de suelos y pago por servicios ambientales.

#### Mecanismos locales de pago por servicios ambientales a través de fondos concurrentes.

Los fondos concurrentes tienen por objetivo reunir recursos financieros de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y las partes interesadas para incentivar y fortalecer la creación de mecanismos locales para el pago por servicios ambientales.

Estos fondos promueven la participación de instituciones de los tres órdenes de gobierno, organizaciones del sector privado, de la sociedad civil y, persona física o moral, a través de sus aportaciones de recursos financieros para el otorgamiento de pagos por la ejecución de acciones y, en su caso, para el apoyo de asistencia técnica, a los dueños y poseedores de terrenos preferentemente forestales, con el propósito de asegurar y/o mejorar la provisión de servicios ambientales.

Los recursos que se integren bajo este esquema estarán destinados al pago y, en su caso, otorgamiento de apoyos por asistencia técnica, a los proveedores del servicio ambiental que presten.

Las actividades elegibles para el otorgamiento de pagos a proveedores del servicio ambiental, son aquellas dirigidas a mejorar y/o mantener los servicios ambientales en el área de interés, tales como:

- Reforestación con plantas nativas en el área de interés, así como el mantenimiento y protección de las áreas reforestadas;
- Reconversión de uso del suelo agropecuario a forestal;
- Realización de obras de conservación y restauración de suelos, así como su mantenimiento;

- 
- Vigilancia para la prevención y combate de incendios, así como para evitar el aprovechamiento ilegal de los recursos naturales;
  - Saneamiento forestal en áreas afectadas por plagas y enfermedades, siempre y cuando éstas se realicen conforme a la legislación aplicable;
  - Exclusión parcial o total de actividades agropecuarias o de cualquier otro tipo en las zonas de interés para la provisión de servicios ambientales, identificadas como agentes de perturbación y degradación de la vegetación forestal;
  - Conservación de la vegetación forestal, el suelo y, en general, de la flora y fauna silvestre asociada a ésta; y
  - Otras que la CONAFOR y la parte interesada convengan y que tengan como propósito mejorar y/o mantener la provisión de los servicios ambientales en el área de interés.

#### Desarrollo forestal comunitario

Los objetivos de programa de apoyo para el desarrollo forestal comunitario son:

- Desarrollar, fortalecer y consolidar procesos de desarrollo local en ejidos y comunidades forestales de regiones prioritarias, para mejorar el manejo tradicional de los recursos bajo esquemas de desarrollo forestal comunitario.
- Impulsar la planeación y organización, incrementar la producción y la productividad, así como elevar el nivel de competitividad de las empresas y cadenas productivas forestales.
- Realizar actividades de saneamiento forestal en ecosistemas y en plantaciones forestales.

Los apoyos del programa pueden ser solicitados por personas físicas o morales de nacionalidad mexicana que sean propietarios o poseedores de terrenos forestales, preferentemente forestales o temporalmente forestales, y las personas físicas o morales que

sin ser dueñas o poseedoras de los terrenos en mención, acrediten su elegibilidad conforme a la modalidad específica de apoyo.

Los apoyos pretenden el fortalecimiento del capital social y capital humano dirigido a fortalecer las instituciones de los núcleos agrarios, para maximizar los beneficios que obtienen del manejo de sus recursos naturales. A través de este componente se promueve también el establecimiento y consolidación de espacios regionales permanentes de participación y consulta social para monitorear y difundir información relativa al desarrollo forestal comunitario.

De igual forma, pretenden desarrollar capacidades de gestión para contratar consultorías que apoyen la toma de decisiones de los beneficiarios respecto a los programas de aprovechamiento de recursos no maderables y conservación y desarrollo empresarial. Los estudios apoyados se orientarán a la valoración de los servicios ecosistémicos, programas de conservación y restauración y el diseño de esquemas de cobro y pago de servicios ambientales a escala micro-regional. También se apoyarán los procesos organizativos en las empresas forestales comunitarias y su funcionamiento como parte de la institucionalidad del núcleo agrario.

#### Desarrollo Comunitario Forestal de los Estados del Sur (DECOFOS).

El objetivo de este proyecto es mejorar las condiciones de vida de los habitantes de zonas forestales en pobreza y pobreza extrema mediante el desarrollo de actividades productivas sustentables que coadyuven y promuevan la reducción de los efectos del cambio climático y sus impactos negativos.

El proyecto se orienta al fortalecimiento de la organización social para que el aprovechamiento maderable, no maderable y de servicios ambientales sea realizado por los habitantes de las zonas forestales; así como a crear las condiciones para que los dueños y poseedores de tierras forestales realicen procesos de valor agregado de su materia prima. Con ello se busca reducir los niveles de pobreza y marginación que afectan a las

comunidades rurales forestales e indígenas de los municipios más pobres de los estados de Campeche, Chiapas y Oaxaca.

El fortalecimiento de la organización social se hará a través del desarrollo de capacidades que faciliten el impulso a procesos locales de desarrollo social y económico.

La operación del proyecto está a cargo de la CONAFOR y es financiado parcialmente por el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) mediante para su instrumentación durante el período 2010 a 2014.

El apoyo podrá ser solicitado por los grupos participativos de interés común y ejidos, comunidades de alta y muy alta marginación de zonas forestales de los municipios prioritarios, que de manera voluntaria, manifiesten su interés por recibir apoyos del proyecto.

Los grupos participativos deberán estar conformados por al menos cinco personas mayores de edad y la solicitud deberá contar con el respaldo de la autoridad agraria o en su defecto por la autoridad municipal.

Los componentes y tipos de apoyos se listan en la tabla que se presenta a continuación.

#### Compensación ambiental

La compensación ambiental por el cambio de uso del suelo en terrenos forestales se refiere a acciones de restauración, tales como el control de la erosión laminar, obras de captación de agua de lluvia complementadas con reforestación, así como mantenimiento para el control de malezas, plagas y enfermedades, riegos y protección del ganado.

El objetivo del programa es propiciar el desarrollo de la reforestación y compensar así, la vegetación dañada por los cambios de uso del suelo.

Para realizar la compensación ambiental, la CONAFOR convoca a dueños y poseedores de terrenos forestales degradados a presentar proyectos a concurso y, en caso de considerarlos viables, otorga apoyos para ejecutarlos.

Los proyectos de compensación ambiental deberán ofrecer la mejor alternativa de restauración del terreno, por lo que deben ser económicamente viables y técnicamente factibles. Así pues, deben incluir las acciones indispensables para lograr la compensación natural y presentar un plan con acciones claras y evaluables para la restauración.

Toda persona física o moral, de nacionalidad mexicana, propietaria o poseedora de terrenos forestales ubicados en las áreas prioritarias<sup>6</sup>, puede presentar proyectos de compensación.

Las acciones de compensación ambiental pueden incluir entre otros:

- Obras y prácticas de restauración de suelos y captación de agua de lluvia para auxilio a la reforestación.
- Reforestación mediante planta de vivero o reproducción vegetativa, del área del proyecto, con las especies y densidades acordes a la condición de degradación y potencial del sitio ecológico, que consideren las especies afectadas por el cambio de uso del suelo forestal.
- Labores culturales, mantenimiento y protección de la reforestación.
- Reintroducción de especies vegetales desaparecidas, propias del lugar.
- Reforestación con especies catalogadas en algún estatus de la NOM-059-ECOL-2001.
- Extirpación de especies invasoras y fomento a las nativas.
- Mantenimiento de la reforestación y las obras de restauración de suelos y captación de agua de lluvia.
- Control de plagas y enfermedades y protección contra predadores naturales.
- Protección contra incendios forestales.

---

<sup>6</sup> El listado de áreas prioritarias por entidad federativa se encuentra publicado en la siguiente liga: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/tramites-y-servicios/apoyos/compensacion-ambiental/areas-prioritarias>.

Cada proyecto de compensación debe realizarse en un período de dos a cuatro años y debe considerar una superficie mínima de 50 hectáreas, de las cuales debe reforestar al menos la mitad y con un mínimo de dos especies diferentes intercaladas entre sí, sólo se aprobará la reforestación de una sola especie, en los ecosistemas en los que se demuestre que predomina una sola especie.

#### Programa de fomento a la organización social, planeación y desarrollo regional forestal.

El programa tiene por objetivo promover el desarrollo forestal a través del fortalecimiento de la organización social, la planeación y la ejecución de proyectos de alcance regional.

#### Saneamiento forestal

Se refiere a un programa de apoyos destinados a la ejecución de actividades de saneamiento en ecosistemas y en plantaciones forestales, con la finalidad de evitar su pérdida y de propiciar su persistencia, así como la de los recursos asociados. Las actividades de saneamiento serán ejecutadas por dueños y poseedores de los terrenos forestales o por personas morales que sin ser propietarios de los terrenos, tienen entre sus funciones la protección forestal, tales como comités estatales de sanidad, organizaciones de silvicultores y unidades de manejo forestal.

Los apoyos están destinados al tratamiento fitosanitario para reducir la incidencia de plagas y enfermedades en terrenos forestales y plantaciones. Se podrán solicitar apoyos para proyectos, que abarquen un grupo de agente causal.

#### Fondo para transición energética y el aprovechamiento sustentable de energía

El objetivo de este programa es impulsar una mayor utilización y aprovechamiento de fuentes de energía renovable y las tecnologías limpias. Cuenta con 3 mil millones de pesos que serán utilizados para promover:

- La transición energética,
- El ahorro de energía,
- Las tecnologías limpias,
- El aprovechamiento de energías renovables.

#### Arancel “0” y depreciación acelerada

Con la finalidad de promover el cuidado del ambiente por parte de las empresas se establecieron estos dos programas de estímulo fiscal.

El primero refiere la exención de impuestos a la importación de equipo anticontaminante, siempre y cuando no se fabrique, ni se pueda fabricar de manera competitiva en México. Este apoyo está sujeto a una autorización previa de la Secretaría de Economía y SEMARNAT.

La depreciación acelerada para equipos de prevención y control de la contaminación es un apoyo fiscal que permite al empresario que adquiere equipo avalado previamente, por el INECC para prevenir y controlar la contaminación ambiental, depreciarlo en un 95.7% al 100% de su valor de compra.

#### Mecanismo de desarrollo limpio MDL

Es un mecanismo de mercado de emisiones evitadas inscrito en el Protocolo de Kioto, que facilita la suscripción de convenios entre los gobiernos de los países industrializados (o países del Anexo1), sus empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) y los países en vías de desarrollo.

El MDL pretende promover el desarrollo sustentable en los países en desarrollo a través de la ejecución de proyectos de mitigación de emisiones de GEI financiados por países desarrollados, que reciben a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su propio compromiso de reducción.

El Artículo 12 del Protocolo de Kioto establece que los proyectos MDL deben cumplir con las condiciones de adicionalidad, de determinación de la línea base y de contribución al desarrollo sustentable del país en desarrollo.