



**INECC**

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO

**INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES Y  
COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO**

**INFORMACION DE INTERÉS NACIONAL**

**CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS 1990-2012 y 2013**

**Mayo, 2015**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
COMPARABILIDAD (METODOLOGÍA SERIE HISTÓRICA Y 2013) .....	4
CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 2013 .....	5
a) Generación eléctrica.....	6
b) Petróleo y gas .....	7
c) Fuentes móviles de autotransporte y no carreteros.....	8
d) Industria.....	10
e) Agropecuario.....	12
f) Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura.....	14
g) Residuos sólidos urbanos y peligrosos.....	16
h) Tratamiento y eliminación de aguas residuales: municipales e industriales .....	19
i) Residencial y comercial .....	21
CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO EN 2013 .....	22
CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2012.....	24
[1] Energía.....	25
[2] Procesos industriales .....	26
[3] Solventes .....	26
[4] Agricultura .....	26
[5] Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura .....	27
[6] Desechos .....	27
REFERENCIAS.....	29

## INTRODUCCIÓN

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) fue propuesto ante el comité técnico especializado de información sobre cambio climático, para ser considerado como información de interés nacional y posteriormente sometido a la junta de gobierno del INEGI. El 8 de agosto de 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el acuerdo en el que se determina como IIN la proveniente del INEGyCEI. Por cuestiones metodológicas y conceptuales, en este documento se presentan de manera separada las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los Compuestos de Efecto Invernadero (carbono negro).

Como país signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), México da a conocer su Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) en cumplimiento con los artículos 4 y 12 de la misma. El INEGEI 2013, así como el cálculo de las emisiones de carbono negro (CN) 2013, formaron la base para dar un posicionamiento nacional ante la comunidad internacional sobre los compromisos de México a los esfuerzos en materia de cambio climático, en la cumbre de jefes de estado convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas en septiembre de 2014; además de ser el punto de partida de los análisis que informan la elaboración de las Contribuciones Intencionales Nacionalmente Determinadas (INDC, por sus siglas en inglés) que México presentó ante la CMNUCC en el primer trimestre del 2015, como parte de los preparativos para la 21 Conferencia de las Partes (COP21) y el nuevo acuerdo vinculante al cual aspira la comunidad internacional. Así, el INEGEI y las emisiones de CN en el 2013, aquí presentado está conformado con la información más actual, con datos desagregados y estimaciones con factores de emisión acordes con las circunstancias nacionales. También se presenta la actualización de las emisiones de GEI en la serie histórica 1990-2012.

En el archivo con las bases de datos en Excel, se presenta la siguiente información, etiquetada en las pestañas como sigue:

- **“2013 Sectores Interés Nacional”**: datos de emisiones de GEI y CN, con las modificaciones a la metodología, actualización de datos de actividad y factores de emisión acordes a las consideraciones nacionales (aplicado en los sectores donde se tuvo factibilidad de datos).
- **“1990 – 2012 IPCC (una pestaña por año)”**: datos de emisiones de GEI con la metodología de acuerdo a las Guías y datos por defecto del IPCC.
- **“2013 IPCC (comparabilidad)”**: ejercicio con la finalidad de comparabilidad de los datos de GEI del 2013, calculados con consideraciones metodológicas de acuerdo con las Guías del IPCC, en aquellos rubros en los que no fue posible realizar las mejoras metodológicas en la serie histórica (energía, procesos industriales y desechos).

### **COMPARABILIDAD (METODOLOGÍA SERIE HISTÓRICA Y 2013)**

Los cambios metodológicos adoptados en la elaboración del inventario 2013 con respecto a inventarios anteriores son de suma importancia, ya que no sólo nos permiten aseverar que la información usada por México es de mayor calidad y resolución, sino que alteran de manera significativa el total de emisiones reportado. En aquellos rubros donde haya resultado factible, se han reproducido las mejoras metodológicas dentro del cálculo de 1990-2012.

Fue factible aplicar las mejoras metodológicas, resultado de la elaboración del INEGEI 2013, de los sectores agricultura y USCUS, así como en las subcategorías de disposición final de RSU y en las emisiones fugitivas de petróleo y gas a la serie histórica del INEGEI 1990-2012<sup>1</sup>, por lo que para estos rubros las estimaciones son consistentes con los resultados del Inventario 2013. Sin embargo, no fue posible utilizar las mejoras del inventario 2013 en los sectores de generación de electricidad, petróleo y gas (subsidiarias), fuentes móviles de autotransporte y no carreteros, industria, residencial y comercial, y el resto de los subsectores de residuos y tratamiento de aguas residuales en la reconstrucción de las categorías correspondientes de la serie histórica.

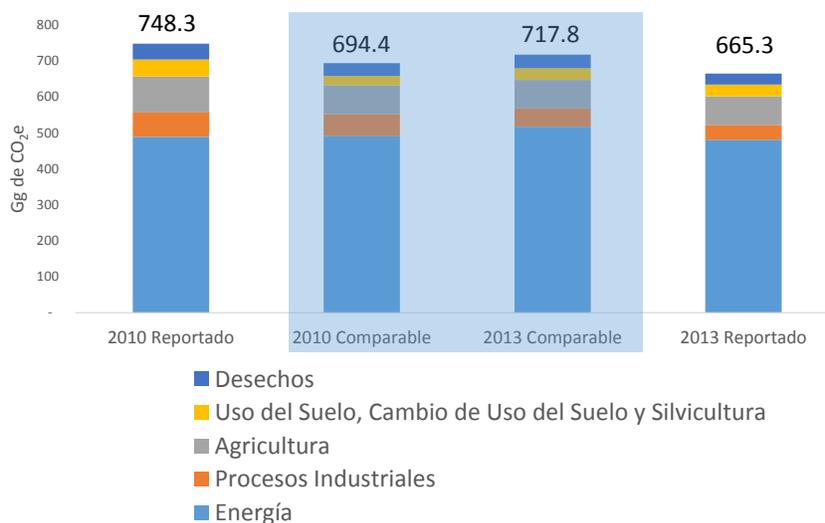
Por lo anteriormente expuesto, no existe continuidad entre la estimación de la serie histórica 1990-2012 y el año 2013.

Para explicar una comparabilidad entre la serie histórica y el 2013, se presenta en la Figura 1 los datos reportados 2010 (inventario y metodología anterior) y 2013 (inventario actual), así como los homólogos (enmarcados) correspondientes aplicando consideraciones para su comparabilidad. Esto se observa en las base de datos de Excel en la pestaña “2013 IPCC (comparabilidad)”

---

<sup>1</sup> Las mejoras metodológicas del INEGEI 2013 se aplicaron a las siguientes categorías y subcategorías del INEGEI 1990-2012: agricultura [4], USCUS [5], eliminación de desechos sólidos [6A], petróleo y gas natural [1B2].

FIGURA 1. Emisiones de GEI de datos reportados y datos comparables



## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 2013

México ha realizado un esfuerzo importante para mejorar la resolución y relevancia de las estimaciones que informan el inventario en relación a los datos de actividad 2013. El INEGEI 2013 comprende las estimaciones de las emisiones por fuentes y sumideros para los sectores: generación eléctrica; petróleo y gas; fuentes móviles de autotransporte y no carreteros; industria; agropecuario; uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS); residuos, y residencial y comercial. Se presentan resultados de las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Además como un esfuerzo adicional, se estimaron las emisiones de carbono negro para los mismos sectores y datos de actividad del 2013.

Los cambios metodológicos más sobresalientes son:

- Se han incorporado las emisiones y absorciones, las permanencias forestales y de otros usos del suelo, sin embargo las permanencias no se suman al balance, usando el muestreo 2004-2007 y remuestreo 2009-2012 del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), y aplicando la metodología indicada en las Guías de Buenas Prácticas de 2003 del IPCC.
- Se han utilizado reportes detallados de actividad a nivel de equipos y/o instalaciones, en lugar de totales agregados de consumo de combustible, en varios sectores importantes, incluidos petróleo y gas, generación eléctrica, y varias industrias como la del cemento, la siderúrgica y la química.

- En el sector transporte se han utilizado estimaciones de flota vehicular y factores de emisión obtenidos a través del modelo de simulación MOVES, lo cual ha permitido calcular, de manera más precisa las emisiones de GEI.
- Se han estimado las emisiones derivadas del manejo de residuos a partir de un modelo nuevo, alimentado por información detallada de volúmenes y consideraciones de manejo en los distintos sitios de disposición de residuos sólidos urbanos del país; y estimar emisiones a través del tiempo basándose en el Modelo Mexicano de Biogás (EPA, 2009).
- Se han utilizado factores de emisión apropiados a la realidad nacional en lugar de los propuestos por defecto por el IPCC, por ejemplo para las estimaciones de: las emisiones de GEI por tratamiento de aguas residuales municipales, por la quema de leña residencial; las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles en los sectores industria y generación eléctrica.
- Las emisiones fugitivas del sector de petróleo y gas, fueron estimadas con factores de emisión determinados específicamente para México (INECC, 2012a)
- Las de emisiones de gases F provenientes de su consumo y producción por el sector industria, así como del uso en el autotransporte, fueron estimadas en base a las metodologías y los resultados del estudio “Inventario de emisiones y consumo de gases de efecto invernadero fluorados” para México (GIZ, 2014).
- Para el inventario 2013 se emplearon los potenciales de calentamiento global a 100 años del Quinto Informe de Evaluación<sup>2</sup> del IPCC, en sustitución de los del Segundo Informe de Evaluación del IPCC.

En la siguiente sección se presenta por sector la metodología, datos de actividad y factores de emisión para el cálculo de las emisiones en el INEGEI 2013

#### a) Generación eléctrica

En el sector “generación eléctrica” se reportan las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O por el uso de combustibles fósiles de las centrales eléctricas operadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los Productores Independientes de Energía (PIE) que proveen de electricidad para el servicio público. Dichas centrales emplean distintas tecnologías: carboeléctrica, ciclo combinado, combustión interna, dual, termoelectrónica y turbogás.

---

<sup>2</sup> Informe más reciente publicado por el grupo científico del IPCC.

**Metodología:** Las estimaciones de las emisiones consideraron los consumos de combustibles por unidad y tecnología de generación de energía eléctrica. Asimismo, se emplearon factores de emisión acordes a cada una de estas tecnologías y a las circunstancias nacionales.

**Datos de actividad:** La información utilizada fue la siguiente:

- Consumo de combustibles por central y unidad operadas por la CFE. En 2013, se obtuvo para la CFE información acerca del consumo y la tecnología de 284 unidades distribuidas en 90 centrales.
- Consumo de combustibles para 26 de las 28 centrales de ciclo combinado operadas por los PIE (SENER, 2014a).
- Datos de eficiencia de transformación y de generación de energía eléctrica para estimar el consumo de combustibles de las dos centrales restantes de ciclo combinado operadas por los PIE (SENER, 2014a).

**Factores de emisión:** Los factores de emisión para el cálculo de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles corresponden a los utilizados previamente por el Gobierno Federal para cuantificar emisiones que forman parte de la política pública (por ejemplo el cálculo del Impuesto al carbono).<sup>3</sup> Para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se utilizaron factores de emisión de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, (EPA, por sus siglas en inglés), denominada AP-42.

#### b) Petróleo y gas

En el sector de petróleo y gas se reportan las emisiones por la producción, el transporte, la distribución, el procesamiento y uso de hidrocarburos de Petróleos Mexicanos (Pemex) en sus cuatro subsidiarias: Pemex Exploración y Producción (PEP); Pemex Petroquímica (PPQ); Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB), y Pemex Refinación (Pref), así como por fuente de emisión (equipos de combustión, oxidadores, quemadores, separadores, torres, venteo en plantas de amoníaco, venteo en plantas de etileno, venteos en plantas de gas natural y emisiones fugitivas propias). Asimismo se presentan las emisiones consideradas en el rubro de “otras emisiones (incluyendo fugitivas)”.

Se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por la quema de combustibles que emplean distintos equipos de combustión; se incluye también un estimado de las fugas de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> provenientes de los procesos de producción, quema, venteo y distribución de hidrocarburos.

**Metodología:** Las estimaciones de la combustión se realizaron considerando el consumo y tipo de combustible por equipos de combustión en cada subsidiaria, utilizando factores de emisión apropiados para estos equipos.

---

<sup>3</sup> Consultar: [http://www.diputados.gob.mx/PEF2014/ingresos/03\\_liva.pdf](http://www.diputados.gob.mx/PEF2014/ingresos/03_liva.pdf).

Por otro lado, las estimaciones de las emisiones adicionales incluyendo fugitivas se realizaron con los volúmenes de producción y transporte a nivel nacional de hidrocarburos, utilizando los factores de emisión más adecuados para cada actividad.

**Datos de actividad:** La información utilizada fue la siguiente:

- El consumo de combustible por equipo de combustión registrado en el Sistema de Información de Seguridad Industrial y Protección Ambiental (SISPA), el cual es un sistema de reporte interno mensual administrado por PEMEX, que recolecta e integra los consumos de cada uno de los más de 7 mil equipos en operación, con un total de 83,707 datos mensuales.
- El volumen de gas desfogado en quemadores, oxidadores y plantas de venteo, reportado en el SISPA.
- El volumen de producción, transporte y procesamiento de crudo y gas natural a nivel nacional (SENER, 2014c); así como el número de pozos desarrollados e intervenidos entre otros. Se cuantificaron datos puntuales para 30 subprocesos de quema, venteo y otras emisiones fugitivas, para los cuales existen metodologías de estimación con factores de emisión determinados específicamente para México (INECC, 2012a).

**Factores de emisión:** Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones de GEI en el reporte del SISPA, están basados en la metodología AP-42 de la EPA, la cual permite considerar las características de los equipos y el tipo de combustible utilizados.

Para el rubro de “emisiones adicionales (incluye fugitivas)”, se utilizan los factores de emisión que mejor se adecuan a las condiciones nacionales, los cuales fueron seleccionados mediante una revisión bibliográfica detallada y mediante la propuesta de algunos factores de emisión propios compilados en un estudio realizado para el INECC por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) (INECC, 2012a). Dicho estudio se apoyó en: Canadian Association of Petroleum Producers, (CAPP, 2004); Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, (IPCC, 2006); U.S. Environmental Protection Agency, American Petroleum Institute y del International Gas Union.

#### c) Fuentes móviles de autotransporte y no carreteros

En el sector de fuentes móviles se presentan las emisiones generadas por la combustión interna del autotransporte a gasolina y diésel, así como de los vehículos no carreteros correspondientes a los sectores de aviación, ferroviario, marítimo, de la construcción y agrícola.

**Metodología:** Se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de:

- Fuentes móviles de autotransporte utilizando el número de la flota vehicular a nivel nacional, los datos de actividad para cada uso vehicular, y los factores de emisión correspondientes al combustible utilizado y a la tecnología vehicular.
- Fuentes móviles no carreteras, usando tipo y cantidad de combustibles utilizados en los subsectores de aviación, ferroviario, marítimo, de la construcción y agrícola.

Se presenta la emisión de HFC-134a reportada en el estudio “Inventario de emisiones y consumos de gases de efecto invernadero fluorados” (*Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases*), desarrollado por la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ, 2014) para el gobierno de México, el cual considera la fuga del refrigerante en la flota vehicular que tiene aire acondicionado (A/C) tanto en el proceso de producción de los automotores, como en los que se encuentran en operación y los que enviados a disposición.

**Datos de actividad:** A continuación se presentan detalles sobre el origen de la información utilizada como dato de actividad en el sector “fuentes móviles de autotransporte y no carreteros”.

Estimación de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

- Flota vehicular: calculada a partir de la venta de automotores en México entre los años 1970 y 2013 (AMIA y ANPACT), la importación de automotores usados provenientes de los EUA (Secretaría de Economía) y la tasa de permanencia vehicular (INECC a partir de encuestas propias realizadas entre el 2008 al 2011). En el caso del HFC-134a se reporta el dato de las unidades producidas en el país, así como la tasa de importación y exportación de unidades nuevas.
- Uso vehicular: se determinó a partir de la información existente en el Inventario Nacional de Gases Criterio 2008, la cual a su vez, se basa en los registros vehiculares de las áreas de transporte y vialidad de cada una de las 32 entidades federativas del país. Los usos vehiculares incluidos fueron: autos particulares, taxis, camionetas pick up, camionetas de transporte público de pasajeros, microbuses, autobuses de transporte urbano, motocicletas, tractocamiones, unidades privadas y comerciales de menos de tres toneladas y mayores a tres toneladas.
- Actividad vehicular (recorridos y velocidad promedio): se obtuvo a partir de encuestas realizadas en diversas ciudades del país (INECC a partir de encuestas propias realizadas entre el 2008 y el 2011).
- Consumo de combustible vehicular: ventas de combustibles vehiculares y estimación de combustible vehicular sustraído de forma ilegal a Pemex. Estos datos sirvieron para evaluar el resultado de emisiones de bióxido de carbono generado a partir de la aplicación del MOVES.
- Consumo a nivel nacional de combustible de los sectores ferroviario, marítimo, aviación y fuentes móviles no carreteras:

- Ferroviarios: consumo para el 2013 reportado por empresas ferroviarias y por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- Marítimo: consumo para el 2013 reportado por la Secretaría de Energía.
- Aviación: consumo para el 2013 reportado por la Secretaría de Energía.
- Maquinaria de construcción y agrícola: el consumo se estimó a partir del registro de consumo existente en el Inventario Nacional de Emisiones (INEM) 2005, aplicándole la tasa de crecimiento del sector industrial (a la maquinaria de la construcción) y la tasa de crecimiento del uso de diésel en el sector agropecuario reportado en el Balance Nacional de Energía.

#### Estimación de HFC-134a

- Flota vehicular: número de vehículos producidos en el país, importados y exportados identificando aquellos con A/C, así como el número de unidades en circulación que poseen A/C y las unidades de reciente salida de circulación (GIZ, 2014).
- Gas refrigerante: tasa inicial promedio de carga para unidades ligeras y pesadas (GIZ, 2014). El 100% de la industria automotriz nacional utiliza HFC-134a.

**Factores de emisión:** Los factores de emisión para el cálculo del CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para fuentes móviles de autotransporte, se obtuvieron a partir del modelo de simulación MOVES. Para el cálculo de la emisión de HFC-134a se utilizó la tasa de pérdida de gas en el proceso de manufactura, durante la operación de los automotores y en la disposición de los mismos (GIZ, 2014).

Los factores de emisión para el cálculo de GEI de las fuentes móviles no carreteras se obtuvieron de distintas fuentes, de acuerdo con cada uno de los subsectores:

- Ferroviario: factores obtenidos de Atmospheric Brown Clouds. Emission Inventory Manual-UNEP 2013 para los contaminantes CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En el caso del CO<sub>2</sub> el factor se obtuvo del IPCC, 2006.
- Marítimo: factores obtenidos de Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual-UNEP para todos los contaminantes reportados.
- Aviación: factores para el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del IPCC, 2006.
- Maquinaria de construcción y agrícola: se utilizaron los factores de emisión del IPCC, 2006.

#### d) Industria

En el sector industria se reportan las emisiones por el uso de combustibles fósiles; por los procesos industriales que generan emisiones a partir de la transformación de materias primas en productos, mediante procesos

químicos y físicos; y las emisiones fugitivas por el minado y manejo del carbón (minería). Se reportan específicamente las emisiones en el sector industria se encuentran: cemento, siderúrgica y química.

Se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O por la quema de combustibles en las diferentes industrias; CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, y SF<sub>6</sub> por procesos industriales; y CH<sub>4</sub> por emisiones fugitivas del minado y manejo del carbón (minería).

**Metodología:** Para estimar las emisiones por el consumo de combustibles fósiles en el sector industria se consideró el consumo de combustibles por equipo, y se emplearon factores de emisión acordes al tipo de combustible.

Para los procesos industriales, en la industria de los minerales se consideró la materia prima utilizada en el proceso, y se emplearon factores de emisión acordes al tipo de materia prima utilizada. En las industrias química, siderúrgica, de producción y consumo de halocarbonos, y de SF<sub>6</sub>, se consideraron los datos de la producción y el consumo, y se emplearon factores de emisión acordes. En las emisiones fugitivas de minado y manejo de carbón se consideró la producción de carbón en la extracción subterránea y superficial, y un factor de emisión acorde al tipo de extracción.

**Datos de actividad:** Se analizó información de aproximadamente 2,000 empresas, mismas que representan más del 90% de las emisiones de GEI por la industria de jurisdicción federal, que reportaron en la COA 2013 sobre:

- Consumo de combustibles por equipo y planta.
- Consumo de las materias primas utilizadas por planta.
- Producción por planta.

Se incorporó la información del Sistema de Información Energética (SIE) de la SENER (SENER, 2014b); el Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO) (SEMARNAT, 2014); anuarios estadísticos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014) y la Secretaría de Economía (SE, 2014); de la Coordinación de Programación y Análisis Administrativo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como los resultados del estudio “Inventario de emisiones y consumos de gases de efecto invernadero fluorados” (*Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases*), desarrollado por la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ, 2014).

**Factores de emisión:** Los factores de emisión para el cálculo de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles corresponden a los utilizados por el Gobierno Federal para cuantificar emisiones para informar la política pública,<sup>4</sup> para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se utilizaron factores de

---

<sup>4</sup> Ver como ejemplo el cálculo del Impuesto al carbono: [http://www.diputados.gob.mx/PEF2014/ingresos/O3\\_liva.pdf](http://www.diputados.gob.mx/PEF2014/ingresos/O3_liva.pdf).

emisión de la metodología AP-42 de la EPA. En el caso de procesos industriales se utilizaron las siguientes metodologías: en la industria de los minerales, IPCC 2006; en el consumo de SF<sub>6</sub>, la GBP del IPCC 2000; en la industria química, industria de los metales, la producción y el consumo de halocarbonos y las emisiones fugitivas por el minado y manejo del carbón, (IPCC 1996).

#### e) Agropecuario

En el sector agropecuario se presentan las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de las actividades pecuarias: fermentación entérica proveniente del ganado y manejo del estiércol; así como las de las actividades agrícolas: manejo de suelos, cultivo de arroz y quema en campo de residuos de cosechas. También, se incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por el uso de combustibles con fines energéticos, utilizados principalmente en maquinaria fija.

Este inventario incluye la actualización al 2013 de los datos de actividad el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) e incorpora el consumo de gas L.P. y queroseno en las actividades productivas primarias.

**Metodología:** Para la estimación de las emisiones en las actividades ganaderas, se integró un conjunto de datos, a partir de las variables de especie, tipo de ganado y número de cabezas de las poblaciones de animales de uso y/o aprovechamiento pecuario.

Para las actividades agrícolas las variables empleadas fueron: extensión de superficies sembradas, superficies cultivadas con leguminosas, superficies cultivadas con arroz, consumo de fertilizantes sintéticos nitrogenados y cantidad de residuos agrícolas generados y quemados, a partir de los datos sobre volúmenes de producción de 114 cultivos, reagrupados en 89 cultivos/tipos que comprenden el 99% de la superficie cultivada en el país. Con esta información se conformó un conjunto de datos agrícolas para el país.

Para la estimación de las emisiones por combustión de energéticos para la operación de maquinaria fija, los datos de actividad empleados fueron los publicados en la versión electrónica del BNE actualizada al 2013.

Se determinaron las emisiones de GEI mediante la metodología propuesta por el IPCC 1996, reforzada con la guía de las buenas prácticas y el manejo de la incertidumbre (IPCC, 2000). Se incorporaron elementos como parámetros y factores de emisión de las directrices metodológicas del IPCC 2006 en los casos que se consideró pertinente.

#### **Datos de actividad:**

- La principal fuente de información utilizada fue la actualización al 2013 del SIACON, publicada en septiembre del 2014. Esta base de datos concentra la información recopilada en los 712 Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADERs), ubicados en los 192 Distritos de Desarrollo Rural (DDRs) de las 33 delegaciones que comprenden el territorio nacional.

En los casos específicos de ausencia de datos registrados para 2013 se realizaron estimaciones y proyecciones a partir de:

- Los VII y VIII Censos Agropecuarios del INEGI en 1991 y 2007 para las poblaciones de equinos.
- La base de datos de la Asociación Internacional de la Industria del Fertilizante (IFA, 2014) actualizada al 2012, para obtener una proyección del consumo nacional de fertilizantes sintéticos nitrogenados en 2013.

En el caso del consumo de combustibles:

- De la publicación electrónica del BNE actualizada al 2013 se utilizaron los consumos reportados a nivel nacional de gas L.P. y querosenos en el sector. El BNE también reporta consumo de diésel para el sector agropecuario, éste fue considerado en el presente inventario para el cálculo de las emisiones de las fuentes móviles no carreteras.

**Factores de emisión:** En la mayoría de los cálculos de GEI, los factores de emisión corresponden a los publicados en las directrices metodológicas del IPCC 1996 y la guía de buenas prácticas del 2000. Se aplicaron las siguientes excepciones:

Para las estimaciones de CH<sub>4</sub>:

- i) En fermentación entérica del ganado bovino lechero se empleó el factor de emisión correspondiente a Europa Occidental [100 kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año] debido a la producción promedio de leche de bovinos en México (3,828 kg/cabeza/año); valor inferior a los 6,700 kg/cabeza/año registrados para ganado norteamericano y más cercano a los 4,200 kg/cabeza/año registrados para el ganado bovino lechero en Europa Occidental.
- ii) En manejo del estiércol del ganado bovino lechero se empleó la razón matemática 99.5:0.5 en emisiones de metano entre fermentación entérica y manejo del estiércol (Ramírez, F., 2010) para regiones templadas [0.5 kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año, Temperatura Media Anual (TMA) 15°-25° C] y se determinó el valor para regiones frías (TMA < 15°C) y templadas (TMA ≥ 25°C) [0 y 1 kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año] mediante la relación aritmética existente entre los factores de emisión por defecto del IPCC.
- iii) En cultivo del arroz se empleó el factor de emisión por defecto, publicado en las directrices IPCC 2006, [1.3 kg CH<sub>4</sub>/ha/día x 180 días/cultivo] (Yan et al., 2005).

Para las estimaciones de N<sub>2</sub>O

- i) En manejo del estiércol del ganado bovino lechero de seis estados productores de leche (Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco y Querétaro) se empleó el factor de emisión de las directrices metodológicas del IPCC 2006 correspondiente a Norteamérica [0.44 kg N/1000 kg peso/día].

- ii) En el cálculo de emisiones indirectas por escorrentía o lixiviación del nitrógeno incorporado en suelos agrícolas se tomó el factor de emisión correspondiente de las directrices metodológicas IPCC 2006 [0.0075 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N]

f) Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura

En la información del INEGI relativa al sector que comprende el uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS), se reportan las emisiones y absorciones de los siguientes tipos de usos del suelo:

- Tierras forestales
- Pastizales
- Tierras agrícolas
- Asentamientos
- Otras tierras

Los datos corresponden a los cambios de los usos del suelo. En el caso del subsector asentamientos, la información es parcial. Los depósitos de carbono cuantificados son: la biomasa viva (aérea y en raíces), y los suelos minerales. Se reportan también las emisiones por incendios en tierras forestales y pastizales. Con los datos de actividad mencionados, se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O.

**Metodología:** Con el uso de las Guías de Buenas Prácticas del IPCC 2003 se ampliaron los alcances a seis usos del suelo, en cinco reservorios de carbono, y se utilizó la superficie total del país.

**Datos de actividad**

- Se utilizaron las series de uso del suelo y vegetación (II, III, IV y V), escala 1:250,000 generadas por el INEGI.
- Se realizó la homologación de los tipos de vegetación para poder comparar las últimas cuatro series. Posteriormente se obtuvieron las matrices de cambio de uso del suelo mediante la comparación directa o cruce de las series, de la siguiente forma: serie II vs serie III, serie III vs serie IV y serie IV vs serie V.
- Las matrices de cambio de uso del suelo indican las superficies que permanecieron con el mismo uso y aquellas que sufrieron cambios en diferentes direcciones para los tres periodos analizados. Los cambios fueron anualizados según el periodo durante el cual fueron ocasionados dentro del rango 1990-2013.

- El Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) como principal insumo para las estimaciones del cálculo de carbono, está constituido por 26,220 parcelas (conformada cada una por cuatro subparcelas de 0.04 hectáreas (400 m<sup>2</sup>) de superficie, área donde se recolecta la información dasométrica levantada en campo) distribuidas de manera sistemática a lo largo del país.
- Para el muestreo y remuestreo del INFyS se tiene disponible, a nivel de subparcela, la información referente al ‘número de individuos vivos’, ‘número de individuos muertos’, ‘especie y género’, ‘área basal’ y ‘altura de los árboles’. Estos datos sirvieron como insumo para estimar el carbono de la biomasa viva y raíces de cada uno de los árboles de todas las subparcelas del INFyS.
- Para realizar la estimación de emisiones derivadas de los incendios forestales, se utilizó la base de datos de incendios forestales de la CONAFOR.

### **Factores de emisión**

- Se cuantificaron los factores de emisión y absorción a partir de los datos del INFyS para los subsectores que permanecieron bajo el mismo uso (tierras forestales y praderas) y para los cambios de ‘otros usos’ a ‘tierras forestales’ o ‘praderas’ y ‘tierras forestales’ o ‘praderas’ que pasaron a ‘otros usos’, en estos casos se estimaron los reservorios biomasa viva y raíces.
- El universo de la muestra fue de 14,687 parcelas de un total de 26,220 una vez que se aplicaron diferentes filtros de calidad, por lo que los resultados obtenidos se consideran robustos a pesar de las incertidumbres altas de los factores de absorción obtenidos.
- En aquellos subsectores y reservorios de carbono donde no se contó con la información necesaria para la estimación de factores de emisión/absorción nacionales, se utilizaron factores de emisión/absorción por defecto (GBP-IPCC, 2003).
- Se seleccionaron para esta actualización los factores de emisión de Andreae y Merlet (2001) que comprenden una revisión exhaustiva y actualizada de todas las publicaciones sobre factores de emisión de CO<sub>2</sub> y gases traza de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> en bosques, y proporcionan valores generales en categorías similares a las propuestas por el IPCC para el sector USCUS.
- Las áreas de permanencias y cambios determinadas por los cruces de series INEGI fueron multiplicados por los factores de emisión/absorción por hectárea obtenidos a partir de la información de los dos muestreos del INFyS.
- Cabe destacar que se estimaron las emisiones por cambios de uso del suelo, las absorciones por la permanencia de tierras forestales, pastizales y tierras agrícolas; de igual manera se estimaron las emisiones por incendios forestales y de pastizales. Sin embargo las absorciones derivadas de las permanencias no se suman al balance general de emisiones de este sector ni del inventario total.

g) Residuos sólidos urbanos y peligrosos

En el sector residuos sólidos urbanos y peligrosos, se estiman las emisiones provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), quema a cielo abierto, tratamiento biológico e incineración de residuos peligrosos.

**Metodología:** En cada subsector se utilizaron la metodología, los factores de emisión y niveles de actividad como sigue:

- Disposición final: se cuantificó la cantidad de RSU generada y recolectada por municipio y depositada en cada SDF, identificando el tipo de sitio como RS, SC, y SNC/TCA, considerando la metodología del IPCC 2006, y se incluyeron datos específicos para el país a través del Modelo Mexicano de Biogás (EPA, 2009). En esta subcategoría se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> identificados en 1,841 municipios del país.<sup>5</sup>
- Quema a cielo abierto: se calcularon las emisiones de GEI a partir de la cantidad de RSU que potencialmente pueden ser quemados en traspatio y en los sitios de disposición final, utilizando la metodología y factores de emisión del IPCC 2006.
- Incineración de RPBI y RPI: se consideraron tanto el tipo y la cantidad de residuos incinerados, como el combustible consumido en el incinerador de cada planta, utilizando los factores de emisión del IPCC 2006 para el proceso. Para el consumo de combustible se usaron factores de emisión acordes con el tipo de incinerador y las circunstancias nacionales. Es importante señalar que, en particular, la emisión total de CO<sub>2</sub> se obtuvo sumando las cantidades estimadas con los factores de emisión (para el proceso) y la reportada por cinco plantas en la COA 2013 (CO<sub>2</sub> del proceso y del consumo de combustible).
- Tratamiento biológico: se utilizaron los datos de 86 plantas de tratamiento por composta (SEMARNAT, 2012c) con respecto a la cantidad de residuos composteados o la capacidad instalada de cada planta. Se usaron factores de emisión y consideraciones del IPCC 2006.

**Datos de actividad**

*Disposición final:*

- Se recopiló la siguiente información de los sitios de disposición final:
  - Datos parciales de los sitios de disposición final de 25 de las 32 entidades federativas.
  - De la información recibida, se cotejó y se complementó con la reportada en 21 Programas Estatales de Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR), 33 Municipales (PMPGIR) y un Intermunicipal (PIPGIR) (Artículos 9 fracción I y 10 fracción I de la Ley

---

<sup>5</sup> México cuenta con 2,456 municipios, <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/default.aspx?tema=T#>.

General para la Prevención y Gestión Integral de los residuos). En estos programas, las entidades federativas y los municipios establecen las prioridades, políticas, acciones y metas estratégicas enfocadas hacia el manejo sustentable y la reducción del impacto al ambiente de los residuos de su competencia. Además se establece un diagnóstico del manejo de los residuos generados, se obtienen los datos y las características de generación, y disposición de los mismos.

- Se consideraron los datos del Modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 que incluye datos de 40 ciudades de México, 18 entidades federativas y el Distrito Federal, así como seis zonas climáticas que consideran la precipitación promedio anual y datos climáticos (EPA, 2009) así como seis fracciones de residuos orgánicos.
- Las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la disposición de RSU se ajustaron en la asignación del factor de corrección de metano (MCF, por sus siglas en inglés) del Modelo Mexicano del Biogás versión 2.0, de acuerdo con consideraciones técnicas de expertos en residuos.
- Los datos de actividad se obtuvieron de la siguiente manera:
  - Datos de fuentes primarias que no requirieron modificaciones.
  - Datos calculados a partir de datos parciales.
  - Datos inferidos a través de supuestos.
- Los datos de actividad sensibles a lo anterior fueron el volumen de RSU depositados y el año de apertura (o de inicio de operaciones) del sitio.
- Se realizó el cálculo a nivel de municipio y sitios de disposición final.

*Quema a cielo abierto:* Para las emisiones en traspatio se emplearon los siguientes datos proyectados al 2013:

- Población por entidad federativa (CONAPO, 2014).
- Fracción de las viviendas que practica la quema domiciliar por entidad federativa (INEGI, 2010).
- Generación per cápita de residuos (SEMARNAT, 2012c).
- La fracción de la cantidad de residuos que se quema respecto de la cantidad total de residuos, sobre la base de dictamen de expertos.

Para las emisiones en sitios de disposición final se emplearon los siguientes datos proyectados al 2013, por municipio

- Identificación de los sitios de disposición final como sitios no controlados (TCA/SNC).
- Cantidad de residuos depositados por sitios de disposición final.
- La fracción de la cantidad de residuos que se quema respecto de la cantidad total de residuos, sobre la base de dictamen de expertos.

#### *Incineración de RPBI y RPI*

- Se utilizó la información de la cantidad real de residuos incinerados, para 2013, de 15 de los 20 establecimientos que cuentan con autorización para la incineración de RPBI y RPI, por parte de la autoridad competente en la materia (SEMARNAT, 2014).
- Para las cinco plantas restantes, se asumió una operación a 50% de su capacidad instalada de acuerdo al listado de empresas autorizadas.
- Se utilizó la cantidad real de combustibles quemados de 18 establecimientos en el proceso de incineración.
- Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el proceso, se consideraron todos los residuos como RPBI, debido a la ausencia de factores de emisión para RPI.

#### *Tratamiento biológico*

- Se utilizaron las características y datos de operación de 86 plantas: cuatro no operaron; de siete plantas ubicadas en el D.F. se obtuvieron datos reales de operación; de cinco se desconocen sus características, y del resto de las plantas se asumió 40% de producción de la capacidad instalada, dato obtenido con base en los datos reales de operación.
- Se conoce el año de inicio de operación de las plantas de compostaje (SEMARNAT, 2012c).
- Para el 2013 no se consideró el tratamiento biológico de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de las aguas residuales.
- No se tiene registro de gas recuperado por el tratamiento biológico de los residuos, por lo que la cantidad de CH<sub>4</sub> recuperado se considera nula.

#### **Factores de emisión**

*Disposición final:* Las emisiones fueron calculadas a través del modelo Mexicano de Biogás 2.0 (EPA, 2009), con base en la metodología del IPCC 2006, incluyendo datos específicos para el país.

*Quema a cielo abierto:* Los factores de emisión empleados para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O corresponden al IPCC 2006, con base en las características específicas de la composición de los RSU, así como las condiciones meteorológicas de sitios de México.

*Incineración de RPBI y RPI:* Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del proceso de incineración para ambos tipos de residuos, fueron estimadas usando los factores de emisión para la incineración de RPBI, reportados en el IPCC 2006. Para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del proceso de quema a cielo abierto provinieron de Christian *et al*, 2010.

*Tratamiento biológico:* Se utilizaron los factores de emisión por defecto basados en la metodología del IPCC 2006. Considerando que la materia orgánica a compostear tiene las siguientes características: 25-50% de carbono orgánico degradable (DOC, por sus siglas en inglés) y 2% de nitrógeno (N), ambas en materia seca, así como con 60% de contenido de humedad.

#### h) Tratamiento y eliminación de aguas residuales: municipales e industriales

En el subsector de tratamiento y eliminación de aguas residuales se reportan las emisiones procedentes de las aguas generadas en:

- Procesos productivos de los subsectores azucarero, químico, papel y celulosa, petrolero, bebidas, textiles, y de alimentos, fundamentalmente.
- Casas y servicios municipales.

Se estimaron las emisiones de CH<sub>4</sub> por la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua residual industrial y, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por el agua residual municipal. En ambas subcategorías se consideraron las emisiones del proceso de tratamiento, y en el caso de las municipales las emisiones de las aguas que no fueron tratadas.

**Metodología:** Las estimaciones del tratamiento de aguas residuales industriales se realizaron con base en la metodología y factores de emisión del IPCC 2006. En el caso de las aguas residuales municipales se utilizaron factores de emisión para CH<sub>4</sub> apropiados para 16 tecnologías.

#### Datos de actividad

*Aguas residuales industriales tratadas:*

- Datos proporcionados por la CONAGUA:

- Número de plantas en operación.
- Ubicación.
- Giro industrial del que proviene el agua a tratar.
- Tipo y proceso de tratamiento.
- Capacidad instalada por planta.
- Caudal en operación por planta.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DQO, por sus siglas en inglés) por tipo de industria.
- Porcentaje de lodos removidos por tipo de industria.
- De 2,610 plantas de tratamiento se seleccionaron 1,569 las cuales cuentan con un alto potencial de generación de metano. En este sentido, las fuentes más importantes de agua residual industrial se identificaron como sigue: 1) manufactura de la pulpa y el papel; 2) procesamiento de carne y aves (mataderos); 3) producción de alcohol, cerveza, y almidón; 4) producción de sustancias químicas orgánicas, y 5) otros procesamientos de alimentos y bebidas.
- El caudal tratado de las 1,569 fue de 41,616.2 l/s.
- Se estimó el contenido total de carbono orgánico degradable (TOW, por sus siglas en inglés) en las aguas servidas por planta, utilizando el caudal en operación y la DQO. Al TOW estimado se le restó la cantidad de lodos (materia orgánica) que son removidos.

*Aguas residuales municipales tratadas:*

- Datos proporcionados por la Conagua de 2,287 plantas de tratamiento de aguas residuales que abarcan 842 municipios:
  - Capacidad instalada,
  - Caudal real tratado, y
  - Tipo de tecnología de tratamiento.
- Se consideraron 24 tecnologías de tratamiento: aerobio, anaerobio, biológico, discos biológicos o biodiscos, dual, filtros biológicos o rociadores o percoladores, fosa séptica, fosa séptica + filtro biológico, fosa séptica + wetland, humedales (wetland), lagunas aireadas, lagunas de estabilización, lodos activados, primario avanzado, rafa + filtro biológico, filtro anaerobio de flujo ascendente (RAFA, por sus siglas en inglés) o Wasb, RAFA, Wasb + humedal, reactor enzimático, sedimentación + wetland, tanque Imhoff, tanque Imhoff + filtro biológico, tanque Imhoff + wetland y zanjas de oxidación.

*Aguas residuales municipales no tratadas:*

- Se emplearon datos a nivel estado:
  - Fracciones de población rural y urbana (CONAPO, 2014),
  - Consumo de proteína por habitante (FAOSTAT, 2014), y
  - Población por estado (CONAPO, 2014).

**Factores de emisión**

- Factores de emisión para aguas residuales industriales: se utilizaron los factores del IPCC 2006 para máxima producción de CH<sub>4</sub> y factor de corrección de CH<sub>4</sub> para cada nivel de tratamiento.
- Factores de emisión para aguas residuales municipales: los factores de emisión que se utilizaron para la estimación de CH<sub>4</sub>, fueron con base en Noyola et al., 2013, para las plantas con caudales de 0-13 l/s, 14-70 l/s y 71-620 l/s y por tipo de tecnología, obtenidos directamente bajo las condiciones de operación. Estos factores de emisión se ajustaron a la metodología de cálculo del IPCC 2006. Se aplicaron para 90% de las plantas de tratamiento con 16 procesos de tratamiento, lo que representa 87.5% del caudal total tratado. Para las plantas con tecnologías y/o caudal diferentes a los antes mencionados y para la estimación del N<sub>2</sub>O se emplearon los factores de emisión por defecto del IPCC 2006.

i) Residencial y comercial

Para los sectores residencial y comercial se reportan las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O por el consumo de gas natural, gas L.P., queroseno, diésel y CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O por la quema de leña. En el inventario 2013, para el consumo de leña en el sector residencial se utilizó la metodología desarrollada para el uso de biocombustibles sólidos en México (INECC, 2012d), la estimación del consumo de leña a nivel de municipio, así como el uso de factores de emisión considerados para el tipo y condiciones de quema de la leña en el país.

**Metodología:** Las estimaciones de las emisiones de la combustión de leña se realizaron considerando el consumo de ésta y utilizando factores de emisión apropiados para el tipo de leña que se utiliza en los hogares en el país.

Para la estimación de las emisiones de GEI por consumo de combustibles fósiles en los distintos sectores se utilizaron los consumos nacionales agregados por sector y los factores de emisión de las directrices del IPCC.

**Datos de actividad:** La información utilizada fue la siguiente:

- El consumo de leña a nivel de municipio se calculó a partir de la información reportada por el INEGI para los años 1990 y 2000 sobre población total por municipio, viviendas particulares habitadas por municipio y viviendas particulares habitadas que usan leña para cocinar.
- Se proyectaron los datos de actividad al 2013 con una tasa de crecimiento de 1.7% anual para las casas totales que consumen leña.
- Se consideró como usuarios exclusivos a aquellos que utilizan leña como combustible único para cocinar, esto es el 76% del número de viviendas que queman leña.
- Se consideró como usuarios mixtos a aquellos que utilizan tanto leña como gas L.P, con un consumo de hasta 50% de leña, esto es el 24% de los hogares que queman leña.
- Consumo per cápita de leña residencial 3kg/persona día (INECC, 2012d), para la población que utiliza leña.
- Habitantes promedio por casa: 4.1
- Información del consumo de combustibles fósiles por sector agregado a nivel nacional, del BNE (SENER, 2014b).

**Factores de emisión:** Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones por combustión de leña fueron seleccionados considerando el tipo y características de ésta, y las condiciones bajo las cuales se quema, para CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> son un promedio de los datos reportados por Christian, T.J. et al., 2010.

Los factores de emisión de GEI para el consumo de combustibles fósiles provienen de las directrices del IPCC 1996.

## **CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO EN 2013**

### **Metodología y estrategia de cálculo**

De acuerdo al sector, la estimación de las emisiones de carbono negro (CN) se realizó considerando una fracción de PM<sub>2.5</sub> o el uso de factores de emisión, como sigue:

**a) Fracción de PM<sub>2.5</sub> de carbono negro**

El carbono negro es una fracción de las PM<sub>2.5</sub> capaz de retener la energía luminosa y de transformarla en calor. Partiendo de este concepto, la estimación de carbono negro a partir de un porcentaje de las partículas PM<sub>2.5</sub>, fue realizado para las actividades de generación de energía eléctrica, quema de combustible fósil o combustible sólido tanto en: industria, fuentes móviles no carreteros, residencial y comercial, quema de leña en estufas, e incendios forestales.

Así, de acuerdo con *Carb, Speciation Profiles Used in ARB Modeling*, la fracción de las PM<sub>2.5</sub> que corresponde a carbono negro, generado por la combustión por tipo de combustible es:

- 20% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión del combustóleo
- 20% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión de diésel
- 20% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión de gas natural
- 14% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión de carbón
- 17% de PM<sub>2.5</sub> por la quema de leña
- 30% de PM<sub>2.5</sub> por la quema de bagazo
- 7% de PM<sub>2.5</sub> por la quema de gas L.P.

Por otra parte, considerando el tipo de actividad, la fracción de PM<sub>2.5</sub> que corresponde a carbono negro es:

- 3% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión en industrias cementeras
- 5% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión en industrias de cal, siderúrgica, y química
- 30% de PM<sub>2.5</sub> por la combustión en ingenios azucareros

**b) Factores de emisión para el cálculo de carbono negro**

En el caso del sector de petróleo y gas; así como de las actividades de la quema a cielo abierto de residuos sólidos urbanos y residuos agrícolas, se determinó usar *factores de emisión*, dado los estudios e investigaciones específicos para el sector y/o el sustento científico. Caso especial es la referencia del factor de emisión de la quema de residuos sólidos urbanos debido a que se usaron los resultados de una investigación realizada en México tomando en cuenta las características y circunstancias nacionales. Así, las referencias utilizadas son fueron: petróleo y gas (McEwen, 2012), quema a cielo abierto (Molina, 2010), y quema de residuos agrícolas (Shrestha, 2013):

Finalmente, para el cálculo del carbono negro proveniente de autotransporte a gasolina o diésel, se usó el modelo Simulador de emisión de vehículos de motor (MOVES, por sus siglas en inglés).

En resumen, el cuadro 1 muestra las metodologías de estimación de CN utilizada para el inventario 2013.

CUADRO 1 Resumen de las metodologías de estimación de CN 2013

Metodología	Sector / Actividad	Valor	Dato de actividad / unidad
Fracción de PM <sub>2.5</sub>	GEE Residencial y comercial	20% <sup>1</sup>	combustión de combustóleo
		20% <sup>1</sup>	combustión de diésel
		20% <sup>1</sup>	combustión de gas natural
		14% <sup>1</sup>	combustión de carbón
		7% <sup>1</sup>	combustión de gas L.P.
	Leña residencial	17% <sup>1</sup>	combustión de leña
	Industria	3% <sup>2</sup>	industria cementera
		5% <sup>2</sup>	industria de caleras, siderúrgica, química
		30% <sup>2</sup>	combustión de bagazo
	USCUSS (incendios)	7.2 - 12% <sup>3</sup>	incendios forestales
Maquinaria de la construcción y agrícola	60% <sup>1</sup>	combustión de diésel	
Incineración de residuos peligrosos	2.4% <sup>1</sup>	combustión de residuos peligrosos	
Agricultura	7% <sup>1</sup>	combustión de gas L.P.	
Factor de emisión	P&G	E = 447,055 <sup>4</sup>	kg CN / Tg CO <sub>2</sub>
	Quema a cielo abierto de residuos	E= 0.646 <sup>5</sup>	g CN /Kg de residuos quemados
	Quemas agrícolas	E = 0.73 <sup>2</sup>	t CN /Gg de biomasa agrícola quemada base seca
	Ferrocarril	E = 1.53 <sup>2</sup>	g CN / kg combustible
	Marítimo	E = 1.02 <sup>2</sup>	kg CN / ton diésel
	Aviación	E = 0.1 <sup>2</sup>	g CN / kg combustible
MOVES	Autotransporte		

Notas:

1. Carb, Speciation Profiles Used in ARB Modeling
2. Atmospheric Brown Clouds (ABC), Emission Inventory Manual.
3. [http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010\\_cca\\_mce2\\_temas\\_emergentes.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_cca_mce2_temas_emergentes.pdf)
4. McEwen, J y M. Johnson (2012). "Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy-driven associated gas flares", Journal of the Air & Waste Management Association.
5. Christian, T., R. Yokelson, B. Cárdenas, L. Molina, G. Engling y S. Hsu. (2010). "Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico", Atmospheric Chemistry and Physics.
6. UNEP 2011. Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, 78p

## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2012

La serie histórica comprende las estimaciones de las emisiones por fuentes y sumideros, se realizaron para cinco de las seis categorías de emisión definidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés): energía [1], procesos industriales [2], agricultura [4], USCUSS [5] y desechos [6]. No se presentan resultados de la categoría de solventes [3]. El inventario 1990-2012 informa sobre los seis GEI incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, SF<sub>6</sub> y PFC.

## [1] Energía

La categoría de energía incluye las emisiones resultado de la exploración, producción, transformación, manejo y consumo de productos energéticos. La categoría se subdivide en consumo de combustibles fósiles y emisiones fugitivas.

En la subcategoría de consumo de combustibles fósiles (1A) se estiman emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen principalmente del contenido de carbono del combustible, en tanto las emisiones de metano y óxido nitroso son afectadas en mayor medida por las condiciones de combustión y la tecnología utilizada.

En la subcategoría de emisiones fugitivas (1B) se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes del minado y manejo del carbón, así como de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por las actividades de la industria del petróleo y gas. En ésta última se tiene un nuevo enfoque que considera las actividades de exploración, producción, transmisión, procesamiento, almacenamiento y distribución de estos energéticos (INECC, 2012a).

**Métodos de referencia y sectorial:** Las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles pueden estimarse mediante dos métodos de nivel 1. En el método de referencia, los cálculos se realizan de acuerdo con la cantidad de combustibles fósiles ofertados en el país y su contenido de carbono. En el método sectorial, las emisiones se calculan con base en el consumo de combustibles fósiles en el país. De acuerdo con la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de GEI, “el método de referencia sólo permite obtener estimaciones agregadas de las emisiones por tipo de combustible, distinguiendo entre combustibles primarios y secundarios, mientras que el método sectorial clasifica estas emisiones por categoría de fuentes” (IPCC, 2000).<sup>6</sup>

Se considera una buena práctica estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> para la subcategoría de consumo de combustibles fósiles mediante ambos métodos. “Las estimaciones de las emisiones basadas en el método de referencia no serán exactamente iguales a las que se hagan por el método sectorial ... sin embargo, las diferencias entre ambos métodos no deberían ser significativas” (IPCC, 2000).

México cuenta con estadísticas sobre el suministro anual de combustibles y con datos sobre la entrega o consumo anual de combustibles fósiles por categoría de fuentes, lo que permite calcular las emisiones tanto por el método de referencia, como por el sectorial. En el caso del INEGEI 1990-2012, las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles se estimaron por ambos métodos.

Caso especial son las emisiones del transporte internacional aéreo y marítimo. De acuerdo con las directrices del IPCC, las emisiones procedentes de la aviación y navegación internacional se informarán separadas de la contabilidad del inventario nacional. Se consideran emisiones del transporte aéreo y marítimo internacional

---

<sup>6</sup> Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero, capítulo 2, Energía, pág. 29.

cuando la aeronave o embarcación carga combustible en el país, pero su destino final es algún puerto en el extranjero. Por este motivo, fue necesario desglosar el uso de combustible en componentes nacionales e internacionales.

## [2] Procesos industriales

La categoría de procesos industriales considera las emisiones generadas en la producción y uso de minerales, industria química, producción de metales, algunos procesos como producción de papel, alimentos y bebidas y, finalmente, las emitidas en la producción y consumo de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, sin tomar en cuenta las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles en el proceso productivo.

De acuerdo con las directrices del IPCC, las emisiones de GEI que se contabilizan en esta categoría incluyen al CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>. También se emiten otros gases denominados precursores de ozono y aerosoles, como son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), así como bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) no contabilizados en las emisiones totales de GEI.

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son generadas por una gran variedad de actividades industriales en las que se transforman materias primas en productos. Los HFC se utilizan en bienes y artículos de consumo, tales como refrigeradores, espumas, latas de aerosol y extintores, en los que se usan como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Tales emisiones se consideran potenciales porque los gases están almacenados en estos productos. Los PFC se liberan en la producción de aluminio y también pueden utilizarse como sustitutos de las SAO en aplicaciones especializadas. El SF<sub>6</sub> se emplea como dieléctrico en circuitos eléctricos.

## [3] Solventes

Las emisiones de esta categoría no se suman al total de las emisiones dado que son precursores de ozono.

## [4] Agricultura

En la presente actualización se determinaron las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O generadas en el periodo 1990-2012, mediante la metodología propuesta, actualizada y validada por el IPCC en 1996; reforzada con la Guía de Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre 2000.

Las directrices metodológicas del IPCC consideran las emisiones de GEI procedentes de i) fermentación entérica, ii) manejo de estiércol, iii) cultivo de arroz, iv) manejo de suelos agrícolas, y v) quema de residuos agrícolas.

Con el propósito de mantener la coherencia de los datos básicos, se integró la caracterización de un conjunto de datos de poblaciones de las especies/tipos de ganado y de los cultivos/tipos agrícolas existentes en el país.

La fuente principal de datos de actividad fue el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), actualizado al año 2012.

En casos específicos de ausencia de datos, como las poblaciones de equinos y el consumo de fertilizantes sintéticos nitrogenados; se calcularon proyecciones a partir de los datos de los VII y VIII Censos Agropecuarios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 1991 y 2007 y de la base de datos de la Asociación Internacional de la Industria del Fertilizante (IFA) actualizada al 2012.

#### [5] Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura

En el marco del informe bienal de actualización (BUR, por sus siglas en inglés), para la elaboración del presente inventario de GEI en la categoría uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS), se trabajó coordinadamente con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con apoyo del Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur (Proyecto México Noruega, PMN).

Esta actualización comprende el periodo 1990 a 2012 y en su elaboración se utilizaron las Guías de las Buenas Prácticas del IPCC 2003. Cabe mencionar que los insumos para la integración de los primeros datos de actividad del periodo corresponden al año 1993 y se asumieron iguales para los años anteriores; de la misma forma, el último año con datos de actividad disponibles es el 2011; por ello, la estimación de 2012 se asumió igual a 2011.

Para la presente actualización se contabilizan las emisiones por cambios en los usos del suelo, así como las absorciones por las permanencias, sin embargo, estas últimas no se suman al balance general del sector.

Es imprescindible señalar que las emisiones y absorciones de la presente actualización no son comparables con las reportadas en los resultados del anterior INEGEI (1990-2010) debido al cambio en la metodología; en esta actualización se migró de las Directrices del IPCC 1996 a las Guías de las Buenas Prácticas 2003. Además, se utilizó información reciente como la serie V de uso del suelo y vegetación de INEGI, así como el uso de información dasométrica proveniente del muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2012) del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de CONAFOR. Asimismo se incluye información reciente para las estimaciones de suelos minerales e incendios forestales.

#### [6] Desechos

En esta categoría se presentan las emisiones de GEI provenientes de las siguientes subcategorías: eliminación de desechos sólidos en sitios gestionados, no gestionados y sitios no categorizados; tratamiento biológico de los desechos sólidos; incineración e incineración abierta de desechos, y tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales. Se emplea la metodología del IPCC 2006.

Con la finalidad de homologar términos y dar claridad en el contexto de la legalidad en México y el compromiso internacional ante la convención, en el cuadro 2 se presenta una homologación de términos.

**CUADRO 2** Homologación de la terminología en residuos del IPCC y la legislación mexicana

<b>Término</b>	
<b>IPCC</b>	<b>Legislación mexicana</b>
Eliminación	Disposición final
Desechos	Residuos
Residuos sólidos municipales	Residuos sólidos urbanos
Sitio de eliminación de residuos sólidos	Sitios de disposición final de residuos
Vertedero	Rellenos sanitarios
Rellenos de tierra controlados	Sitio controlado
Tiraderos	Sitio no controlado
Incineración abierta de desechos	Quema a cielo abierta

En la subcategoría de eliminación de desechos sólidos, se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub>, que son producto de la descomposición anaeróbica de materia orgánica en los residuos. En la subcategoría de tratamiento biológico de los desechos sólidos, se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En la subcategoría incineración e incineración a cielo abierto de desechos, se estiman CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, gases generados por la incineración de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (RPBI), Residuos Industriales Peligrosos (RPI) y la quema a cielo abierto de residuos sólidos urbanos. Finalmente, para la subcategoría de tratamiento y eliminación de aguas residuales, se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de aguas domésticas e industriales. En algunos procesos de tratamiento de agua se produce CH<sub>4</sub> por la degradación de los compuestos orgánicos en condiciones anaerobias y N<sub>2</sub>O por las bacterias presentes que consumen el nitrógeno.

**REFERENCIAS**

- ARB (2014). Speciation Profiles Used in ARB Modeling. Recuperado el 6 de octubre de 2014 de:  
<http://www.arb.ca.gov/ei/speciate/speciate.htm#specprof>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2009). Modelo Mexicano de Biogás Versión 2. Desarrollado por SCS Engineers. Programa Computacional. En: [www.epa.gov/lmop/documents/xls/ModeloMexicanodeBiogasv2.xls].
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2014). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2012. (EPA 430-R-14-003). Estados Unidos. En: [www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html].
- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) / European Environment Agency (EEA) y European Monitoring and Evaluation Programme. (EMEP/EEA). (2009). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook: technical guidance to prepare national emission inventories*, Reporte técnico, núm. 9/2009.
- American Petroleum Institute (API). (2009). Compendium of Greenhouse Gas emissions Methodologies for the Oil and Gas Industry. Estados Unidos. En: [www.api.org/environment-health-and-safety/climate-change/whats-new/compendium-ghg-methodologies-oil-and-gas-industry].
- Andreae, M. y P. Merlet. (diciembre, 2001). “Emission of trace gases and aerosols from biomass burning”, en *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 15, num. 4, pp. 955- 966.
- Asociación Internacional de la Industria del Fertilizante (IFA). (2014). IFADATA. Base de datos estadística sobre producción, comercialización y consumo de fertilizantes sintéticos. París, Francia. Disponible en: <<http://www.fertilizer.org/Statistics>>
- Bachmann, J. (2009). Black Carbon: “A Science/Policy Primer”, Pew Center on Global Climate Change. from see: <http://www.c2es.org/docUploads/black-carbon-12-16-09.pdf>
- Beukema, K. (junio, 2000). “Report of Working Committee 8”, en *Environment, Safety and Health*, núm. 21. Francia, Conferencia Mundial del Gas.
- Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP). (2004). A National Inventory of Greenhouse Gas (GHG), Criteria Air Contaminant (CAC) and Hydrogen Sulphide (H<sub>2</sub>S) Emissions by the Upstream Oil and Gas Industry. Canada.
- Chow, C., Watson, J., Lowenthal, D., Chen, A., y Motallebi, N. (octubre, 2011). “PM<sub>2.5</sub> source profiles for black and organic carbon emission inventories”, en *Atmospheric Environment*, vol. 45, núm. 31, pp. 5407-5414.

- Christian, T., R. Yokelson, B. Cárdenas, L. Molina, G. Engling y S. Hsu. (2010). "Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico", en *Atmospheric Chemistry and Physics*, núm. 10, pp. 565-584.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Oficio T8000/ 0126/2014 remitido por la Coordinación de Programación y Análisis Administrativo (6 de junio, 2014) dirigido a la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental (Semarnat).
- Consejo Nacional de Población (Conapo). (2014). "Proyecciones de la población 2010-2050". Secretaría de Gobernación (Segob). En: [<http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>]. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, (CMNUCC). (9 de mayo 1992). En: [[unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf)].
- CMNUCC. (15 de marzo, 2012) Decisión 2/CP. 17, Resultado de la labor del Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo en el marco de la Convención, FCCC/ CP/2011/9/Add.1. En: [[unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf)].
- Detzel, A., R. Vogt, H. Fehrenbach, F. Knappe y U. Gromke. (2003). *Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung und internationale Richtlinien*. Alemania, Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg y Öko-Institut.
- Diario Oficial de la Federación de México (DOF). (6 de junio, 2012). Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En: [[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5249899&fecha=06/06/2012](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249899&fecha=06/06/2012)].
- DOF. (11 de diciembre, 2013). "Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley del Impuesto al Valor Agregado; de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios; de la Ley Federal de Derechos, se expide la Ley del Impuesto sobre la Renta, y se abrogan la Ley del Impuesto Empresarial a Tasa Única, y la Ley del Impuesto a los Depósitos en Efectivo". En: [[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5325371&-fecha=11/12/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5325371&-fecha=11/12/2013)].
- DOF. (8 de agosto, 2014). "Acuerdo por el que se determina Información de Interés Nacional la información proveniente del Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Instituto Nacional de Estadística y Geografía". En: [[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355846&fecha=08/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355846&fecha=08/08/2014)].
- DOF. (8 de agosto, 2014b). "Acuerdo por el que se aprueba la inclusión al Catálogo Nacional de Indicadores de un conjunto de indicadores clave en materia de cambio climático". En: [[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355848&fecha=08/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355848&fecha=08/08/2014)].
- DOF. (28 de abril, 2014). "Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018". Semarnat. En: [[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014)].

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (PICC). (1996). *Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, versión revisada en 1996, preparado por J. Houghton *et al.* (eds.), publicado por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Agencia Internacional de la Energía (AIE).
- PICC. (2000). *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, preparado por J. Penman, D. Kruger y J. Galbally (eds.), publicado por la OCDE y la AIE.
- PICC. (2002). *Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, preparado por el National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC). Japón, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES).
- PICC. (2003). *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*, preparado por el IPCC. J. Penman *et al.*, (eds.). Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el IPCC.
- PICC. (2006). *Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, preparado por IPCC. H. Eggleston *et al.* (eds). Publicado por el Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), Japón.
- PICC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. T. F. Stocker *et al.*, (eds.). Reino Unido, Nueva York, Cambridge University Press, 1535 pp.
- Gunnarsdotter Beck-Friis, B. (2001). *Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste*, tesis doctoral. Suecia, University of Agricultural Sciences.
- Hall, D. *et al.*, (agosto, 2012). “PAHs, carbonyls, VOCs and PM2.5 emission factors for pre-harvest burning of Florida sugarcane”, en *Atmospheric Environment*, vol. 55, pp. 164-172.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2010). *Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación*, consultoría realizada por Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM (CCA-UNAM) y Molina Center for Energy and the Environment (MCE2). En: [[www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010\\_cca\\_mce2\\_temas\\_emergentes.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_cca_mce2_temas_emergentes.pdf)].
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2012a). *Determinación de factores de emisión para emisiones fugitivas de la industria petrolera en México*, consultoría realizada por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la 5ª. Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En: [[www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012\\_estudio\\_cc\\_invgef3.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_invgef3.pdf)].

- INECC. (2012b). *Escenarios de mitigación de gases efecto invernadero, carbono negro y otros forzadores climáticos de vida corta, mediante el uso de biocombustibles sólidos*, consultoría realizada por el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada, A.C. (GIRA) para la 5ª. Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En: [www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012\_estudio\_cc\_mitgef9.pdf].
- INECC. (2013). *Apoyo a la iniciativa de planificación nacional sobre contaminantes climáticos de vida corta en México*, consultoría realizada por Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment (MCE2). En: [www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/2013\_mexico\_snap.pdf].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1991 y 2007). *VII Censo agrícola-ganadero y VIII Censo agrícola, ganadero y forestal*. México. En: [www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/].
- INEGI. (1993, 2002, 2007, 2011). *Cartas de uso del suelo y vegetación*. Escala 1:250,000. México, series II-V.
- INEGI. (2000, 2007). *Conjunto de datos vectorial edafológico 1980-1998 y 2002-2006*. Escala 1:250,000. México, series I-II. (Continuo Nacional).
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda 2010. México. En: [www.censo2010.org.mx/].
- INEGI. (2014). *La industria química en México y La industria siderúrgica en México*. En: [http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/].
- INEGI. (2013). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2013*. México. En: [http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825054021&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=8&pg=0].
- INEGI. (2014). *Conjunto de datos de erosión del suelo*. Escala 1:250 000. México, serie I. (Continuo Nacional)
- Johnson, M., R. Edwards, C. Frenk y O. Masera. (febrero, 2008). “In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households”, en *Atmospheric Environment*, vol. 42, núm. 6, pp. 1206-1222.
- Kiss, G. *et al.* (2006). “Caracterización de lixiviados y biogás generados en sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en lugares seleccionados de la zona centro de México”, reporte final para el Instituto Nacional de Ecología (INE). México.
- Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. (16 de abril, 2008). En: [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lsnieg.htm].
- McEwen, J y M. Johnson. (24 de febrero, 2012). “Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy-driven associated gas flares”, en *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 62, núm. 3, pp. 307-321.

- Mendoza, A., García, M., Vela, P., Lozano, D. y Allen, D. (1 de marzo, 2012). “Trace Gases and Particulate Matter Emissions from Wildfires and Agricultural Burning in Northeastern Mexico during the 2000 Fire Season”, en *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 55, núm. 2, pp. 1797-1808.
- Noyola, A., J. Morgan-Sagastume y L. Güereca. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México, Instituto de Ingeniería, UNAM. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT). (2014). Roma, Italia. En: [faostat. fao.org/].
- Ramírez, F. (2010). *Emisiones de metano generadas por excretas de animales de granja y contenido ruminal de bovino*, tesis doctoral. México, Colegio de Postgraduados. En: [www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/282/Ramirez\_Hernandez\_IF\_DC\_Hidrociencias\_2010.pdf].
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2014). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. México, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). En: www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialasiacon-zip/].
- Secretaría de Economía (SE). (2014). *Anuario estadístico de la minería mexicana*. En: [http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com\_content&task=view&id=127&Itemid=67].
- Secretaría de Energía (Sener). (2014b). *Sistema de información energética. México. (3 de octubre, 2014)*. En: [sie.energia.gob.mx/].
- Sener. (2014c). *Sistema de información energética. México. (15 de octubre de 2014)*. En: [sie.energia.gob.mx/].
- Sener. (2014d). *Sistema de información energética. México. (5 de noviembre, 2014)*. En: [sie.energia.gob.mx/].
- Sener. (2014e). *Sistema de información energética. México*. En: [http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas: Sector Energético]; [ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS NACIONALES], [Balance Nacional de Energía]; [Consumo de energía en el sector industrial].
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (Sedema). (2013). *Inventario de residuos sólidos del Distrito Federal 2012*. En: [www.sedema.df.gob.mx/flippingbook/inventario-residuos-solidos-2012/].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2012a). *Inventario Nacional de Emisiones, 2005*. En: [sinea.semarnat.gob.mx/].
- Semarnat. (2012b). *Inventario nacional forestal y de suelos. Informe 2004-2009*. Comisión Nacional Forestal (Conafor). En: [www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Inventario\_nacional\_forestal\_y\_de\_suelos\_informe\_2004\_-\_2009\_.pdf].

- Semarnat. (2012c). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012. Versión extensa*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Semarnat. (2012). *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. En: [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\_pub=685].
- Semarnat. (2013). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010. México. En: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\_pub=697].
- Semarnat. (2014). *Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono*. En: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio\_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx\_8080/ibi\_apps/WFServlet5e6c.html].
- Shrestha, R. *et al.* (2013). *Atmospheric Brown Clouds (ABC) Emission Inventory Manual*. Nairobi, Kenya, United Nations Environment Programme. Yan, X., K. Yagi, H. Akiyama y H. Akimoto. (9 de junio, 2005). "Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields", en *Global Change Biology*, vol. 11, núm. 7, pp. 1131-1141.
- UNEP (2011). *Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers*, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, 78p
- Wallack, J. S. and V. Ramanathan (2009). "The Other Climate Changers Why Black Carbon and Ozone Also Matter." *Foreign Affairs* 88(5): 105-115. from see: <http://www-ramanathan.ucsd.edu/files/pr168.pdf>