

IV. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

IV.1 Introducción

El presente Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) comprende las estimaciones de las emisiones por fuentes y sumideros para el periodo 1990-2010. Se realizó conforme a lo establecido en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en las Directrices para la preparación de comunicaciones nacionales de las Partes No-Anexo I de la CMNUCC, adoptadas en la decisión 17/CP.8 (CMNUCC, 2003), que señalan que las Partes no incluidas en el Anexo I de la Convención, informarán a la Conferencia de las Partes, por conducto del Secretariado y de conformidad con el compromiso estipulado en el inciso (a) del párrafo 1 del artículo 4 de la Convención, de “elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes”.

Los cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) aquí informados, se realizaron para cinco de las seis categorías de emisión definidas por el Panel

Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC): Energía [1], Procesos Industriales [2], Agricultura [4], Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) [5] y Desechos [6]. No se presentan resultados de la categoría de Solventes [3], que sólo emite gases precursores de ozono.

El INEGEI 1990-2010 informa sobre los seis GEI incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Las emisiones en este inventario se contabilizan por cada GEI y también en unidades de CO_2 equivalente (CO_2 eq.), las cuales se estiman multiplicando la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global.¹ Al expresar las emisiones de GEI en estas unidades, podemos compararlas entre sí y medir la contribución de cada fuente al total nacional de emisiones del inventario.

¹ En este inventario se utilizaron los potenciales de calentamiento publicados en el Segundo Informe de Evaluación del PICC, ya que éstos siguen siendo usados por la CMNUCC. Los potenciales de calentamiento son: $\text{CO}_2=1$, $\text{CH}_4=21$, y $\text{N}_2\text{O}=310$, valores que son estimados en un horizonte de 100 años. Para los halocarbonos ver el Anexo.

Las cifras de emisiones de GEI publicadas en la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, presentada en 2009, se recalcularon para el presente inventario, considerando la información más reciente, como es el caso de los datos utilizados para estimar las emisiones de la categoría de USCUS, en donde fue necesario extrapolar todas las actividades al 2010; en la subcategoría de ganadería, se incluyó la corrección en la metodología comunicada por la Convención, por lo que se observa un aumento en las emisiones; en la categoría de Desechos, se utilizó por primera vez la metodología del PICC 2006 y se redujeron las emisiones estimadas, y para la categoría de Energía, se actualizaron los datos de actividad de acuerdo con las nuevas cifras publicadas en el Balance Nacional de Energía 2010 y en el Anuario Estadístico de la Industria Siderúrgica Mexicana.² Debido a lo anterior, las cifras del INEGI 1990-2010 sustituyen los valores publicados previamente.

La estimación de las emisiones y la posterior integración de los informes de cada categoría de emisión fueron posibles gracias a la comprometida labor de especialistas de las siguientes instituciones: Biosfera Tlalli A.C.; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE); Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (FI-UNAM); Pronatura México A.C. y el Instituto Nacional de Ecología (INE), que coordinó, revisó e integró el trabajo de los especialistas.

También se contó con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y de la Unión Europea, a través de la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán), para el fortalecimiento de capacidades a nivel nacional y estatal en materia de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

² Se considera el uso no energético del carbón de la industria siderúrgica.

IV.2 Arreglos institucionales

Una de las recomendaciones de la CMNUCC para la preparación de inventarios nacionales de emisiones de GEI, es que las Partes no incluidas en el Anexo I describan los procedimientos y arreglos adoptados con el fin de reunir y archivar los datos para la preparación de sus inventarios nacionales de emisiones de GEI, así como las medidas tomadas para que éste sea un proceso continuo, y que se incluya información sobre la función de las instituciones participantes.

El Gobierno de México tiene establecidas funciones y responsabilidades para cumplir con los compromisos que marca la CMNUCC. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en su Reglamento Interior (Diario Oficial de la Federación, 29 de noviembre de 2006), artículo 110, fracción XLIX, establece como atribución del INE “promover y coordinar estudios para la actualización, mejoramiento y sistematización permanente del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero”.

Para el desarrollo del INEGI 1990-2010, la SEMARNAT, a través de la Coordinación del Programa de Cambio Climático del INE, estableció una estructura de trabajo y acuerdos institucionales hacia el interior y con otras secretarías de Estado e instituciones de investigación públicas y privadas, así como organizaciones de la sociedad civil.

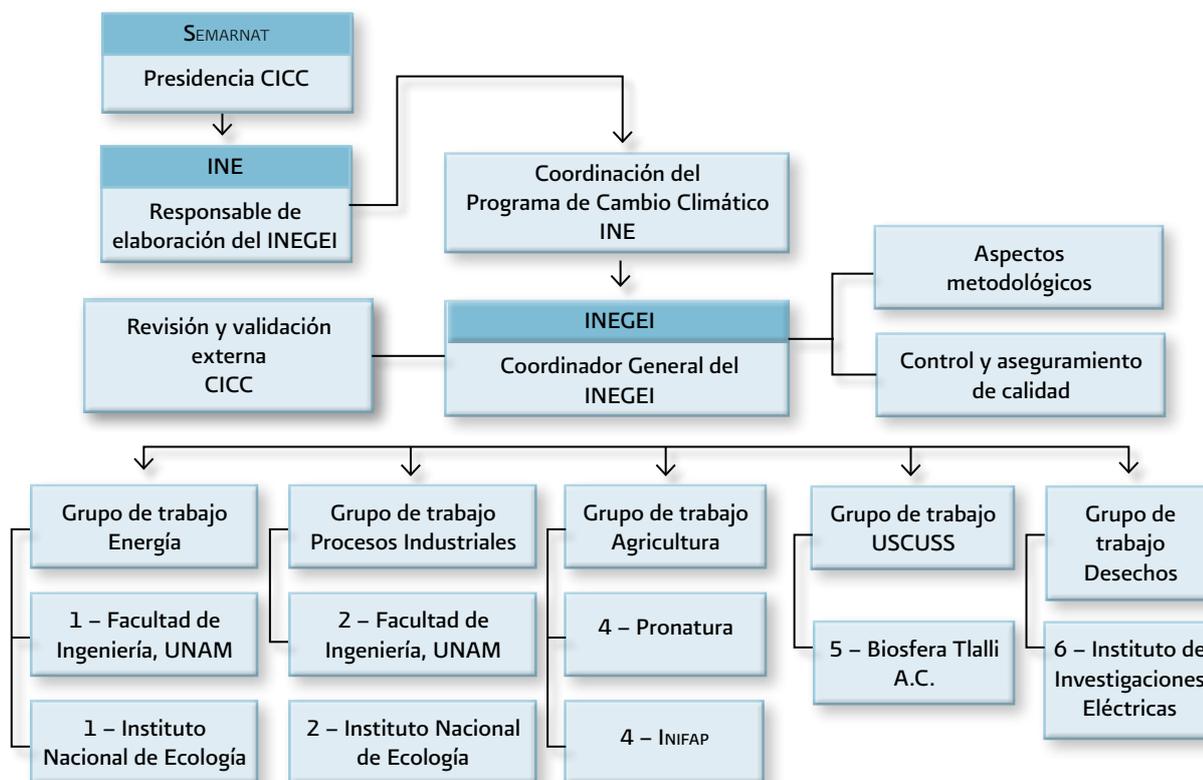
Con base en la experiencia obtenida en los inventarios anteriores, el INE convocó a una serie de expertos, tanto independientes como provenientes de instituciones de reconocida trayectoria en el tema de cambio climático y desarrollo de inventarios de emisiones, para que participaran en la preparación del INEGI 1990-2010. Los arreglos institucionales se muestran en la Figura IV.1; de esta manera, la Coordinación del Programa de Cambio Climático participa en forma más activa en el desarrollo del INEGI.

En este inventario, a diferencia del anterior, las emisiones de GEI generadas a partir de las actividades de las categorías Agricultura y USCUS fueron revisadas por expertos de CONAFOR, CONABIO y FAO, los cuales además colaboran en la realización de la Estrategia

Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ENAREDD+). También participaron directamente un mayor número de instituciones tanto en la provisión de datos e información como en la estimación de las emisiones. La colabo-

ración de las instituciones y organizaciones mencionadas a continuación facilitó la recolección de datos, la revisión y la validación externa del INEGEI 1990-2010 (Cuadro IV.1).

■ Figura IV.1. Estructura de los acuerdos institucionales para la elaboración del INEGEI 1990-2010



CICC: Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.

■ Cuadro IV.1. Colaboración institucional y empresarial por categoría de emisión

Instituciones y empresas	Categorías de emisión
Comisión Federal de Electricidad (CFE) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Petróleos Mexicanos (PEMEX) Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) Secretaría de Economía (SE) Secretaría de Energía (SENER) Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) DUPONT México, S.A. de C.V. Quimobásicos S.A. de C.V.	Energía y Procesos Industriales

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)	Agricultura y USCUS
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Desechos

Durante la actualización del INEGI 1990-2010, se desarrolló el estudio “*Enfoque Sistémico de la Elaboración de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*”, con la colaboración de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. El objetivo del estudio fue diseñar un sistema para mejorar de manera continua el INEGI, y dentro de los resultados de la etapa de diseño se obtuvo el “Macroproceso del INEGI”, que integra las diferentes actividades, desde la búsqueda de los datos de actividad hasta la difusión de los resultados, y las agrupa en procesos que, a su vez, constituyen ocho fases o áreas sustantivas, como se muestra en la Figura IV.2. Cabe señalar que el Macroproceso se construyó en paralelo a la actualización del INEGI 1990-2010 y que se podrá replicar a nivel subnacional.

El esquema del Macroproceso se obtuvo mediante el análisis de los elementos internos que lo conforman y de aquéllos que se encuentran en su entorno y que lo afectan de manera directa, por lo que el estudio integra también recomendaciones de los actores³ que han participado en las distintas actualizaciones y aquellas otras derivadas del análisis de quienes desarrollaron este proyecto.

Entre las recomendaciones, algunas inciden en los arreglos institucionales, ya que se considera que no tienen la debida formalización, pues no existe hasta el momento un acuerdo que vincule a otras instituciones haciéndolas partícipes y responsables de la elaboración del INEGI; otras se enfocaron al proceso de elaboración, cómo mejorar su planeación y generar un sistema que permita la integración

³ Dependencias de gobierno, consultores externos, universidades y asociaciones.

de los datos de actividad y parámetros de manera eficiente, en especial para la categoría de USCUS.

Con estos resultados, correspondientes a la fase de diseño del sistema de gestión, se determinó que una segunda etapa correspondería al diseño de un sistema de información para gestionar la actualización sistemática del INEGI. Por otra parte, atendiendo a la necesidad de involucrar a otras dependencias e instituciones en horizontes más amplios que los que se han establecido hasta el momento mediante convenios o contratos, se ha comenzado a integrar a múltiples especialistas en las diferentes áreas y a quienes se consultó durante todo el proceso de actualización del INEGI 1990-2010.

■ Figura IV.2. Macroproceso del INEGI



Fuente: “Enfoque Sistémico de la Elaboración de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero” (INE, 2011).

IV.3 Proceso de preparación del inventario y aspectos metodológicos

La preparación del INEGEI 1990-2010 se realizó en las siguientes fases: 1) inicio, 2) desarrollo, 3) compilación, 4) generación de informe y 5) revisión, edición y publicación.

- Inicio: Reunión de expertos, plan de trabajo y metodologías a seguir.
- Desarrollo: Estimación de emisiones por categoría.

- Compilación: Control de calidad de los informes y cálculo de las series de tiempo.
- Generación de informe: Integración de un documento final en el formato establecido.
- Revisión, edición y publicación: Revisión externa y versión final del inventario para publicación.

Las directrices utilizadas para cada una de las categorías y niveles metodológicos empleados se muestran en el Cuadro IV.2.

■ Cuadro IV.2. Nivel metodológico empleado en la estimación del INEGEI

Categoría	Subcategoría	Fuente	Metodología	Nivel	Factor de emisión
Energía	Industria generadora de energía	Producción de electricidad y calor; refinación de petróleo y gas natural; manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de energía.	1996	1 y 2 3 para NO _x	Por defecto
	Manufactura e industria de la construcción	Procesos industriales y producción de: hierro y acero, metales no-ferrosos, industria química, pulpa, papel e impresión, procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, otros, incluido el cemento.	1996	1 y 2 3 para NO _x	Por defecto
	Transporte	Aviación civil nacional, autotransporte, ferrocarril, y marítimo nacional.	1996	1 y 2	Por defecto
	Comercial, residencial y agropecuario	Consumos energéticos de las áreas comercial, uso doméstico y agropecuario.	1996	1 y 2	Por defecto
	Emisiones fugitivas	Producción de carbón mineral; producción de petróleo y gas natural; precursores de ozono y SO ₂ .	1996	1	Por defecto
	Leña y biogás	Uso de leña y biogás como fuente de energía.	1996	1	Por defecto
Procesos Industriales	Productos minerales	Producción de cemento y cal, uso de caliza y dolomita, carbonato de sodio; material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica.	1996	1	Por defecto

Categoría	Subcategoría	Fuente	Metodología	Nivel	Factor de emisión
Procesos Industriales	Industria química	Producción de amoníaco, ácido nítrico, ácido adípico, carburo de silicio y carburo de calcio, otros químicos.	1996	1b	Por defecto
	Producción de metales	Hierro y acero, ferroaleaciones, aluminio.	1996	1	Por defecto
	Otros procesos industriales	Papel y celulosa, alimentos y bebidas.	1996	1	Por defecto
	Producción y consumo de halocarbonos y SF ₆	Hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF ₆).	1996	1	Por defecto
Agricultura	Fermentación entérica	Ganado vacuno, búfalos, cerdos, u otras especies.	1996	1	Específico del país
		Ovejas, cabras, mulas/asnos, caballos o aves de corral.	1996	1	Por defecto
	Manejo del estiércol - emisión de metano	Ganado vacuno, búfalos, cerdos, u otras especies.	1996	2	Específico del país
		Ovejas, cabras, mulas/asnos, caballos o aves de corral.	1996	1	Por defecto
	Cultivo del arroz	Regado, régimen de inundación permanente o intermitente.	1996	1	Por defecto
	Suelos agrícolas	Emisiones directas, emisiones indirectas, pastoreo directo.	1996	1b	Por defecto
	Quema de residuos agrícolas	Cereales, leguminosas, etc.	1996	1	Por defecto
USCUSS	Suelos forestales	Suelos forestales que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a suelos forestales.	1996	1	Por defecto
	Praderas y matorrales	Praderas y matorrales que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a praderas y matorrales.	1996	1	Por defecto
	Suelos agrícolas	Suelos agrícolas que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a suelos agrícolas.	1996		

Categoría	Subcategoría	Fuente	Metodología	Nivel	Factor de emisión
	Suelos urbanos	Suelos urbanos que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a suelos urbanos.	1996	1	Por defecto
	Humedales	Humedales que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a humedales.	1996	1	Por defecto
	Suelos desnudos	Suelos desnudos que permanecen como tales.	1996	1	Por defecto
		Suelos de otros usos que pasan a suelos desnudos.	1996	1	Por defecto
Desechos	Eliminación de desechos sólidos	Disposición final de residuos sólidos urbanos.	2006	2	Por defecto
	Tratamiento biológico de desechos sólidos	Industrial y residencial.	2006	1	Por defecto
	Incineración de residuos	Incineración de residuos cerrada y a cielo abierto.	2006	1	Por defecto
	Aguas residuales municipales	Tratamiento de aguas residuales y lodos municipales.	2006	1	Por defecto
	Aguas residuales industriales	Tratamiento de aguas residuales y lodos industriales.	2006	1	Por defecto

En este capítulo se presenta el anexo con el Inventario Nacional de Emisiones de Carbono Negro, como información preliminar y adicional al INEGEI. Las emisiones fueron estimadas para el mismo periodo y utilizando los mismos datos de actividad de este inventario.

IV.4 Panorama general

Las emisiones de GEI para 2010 en unidades de CO₂ equivalente,⁴ se estimaron en gigagramos (Gg) para

⁴ Ver potenciales de calentamiento en Anexo.
Un gigagramo (Gg) equivale a mil toneladas.

los seis gases enunciados en el Anexo A del Protocolo de Kioto. Estas emisiones tuvieron un incremento del 33.4% con respecto al año base 1990, con una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) de 1.5%.

En la Figura IV.3 se resume la contribución por categoría de emisión (lado izquierdo) y por gas (lado derecho). En 2010 la contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ equivalente es la siguiente: la categoría de Energía representó 67.3% (503,817.6 Gg); Agricultura, 12.3% (92,184.4 Gg); Procesos Industriales, 8.2% (61,226.9 Gg); Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, 6.3% (46,892.4 Gg) y Desechos, 5.9% (44,130.8 Gg) (Figura IV.4).

■ Figura IV.3. Diagrama de emisiones de GEI para México (2010)

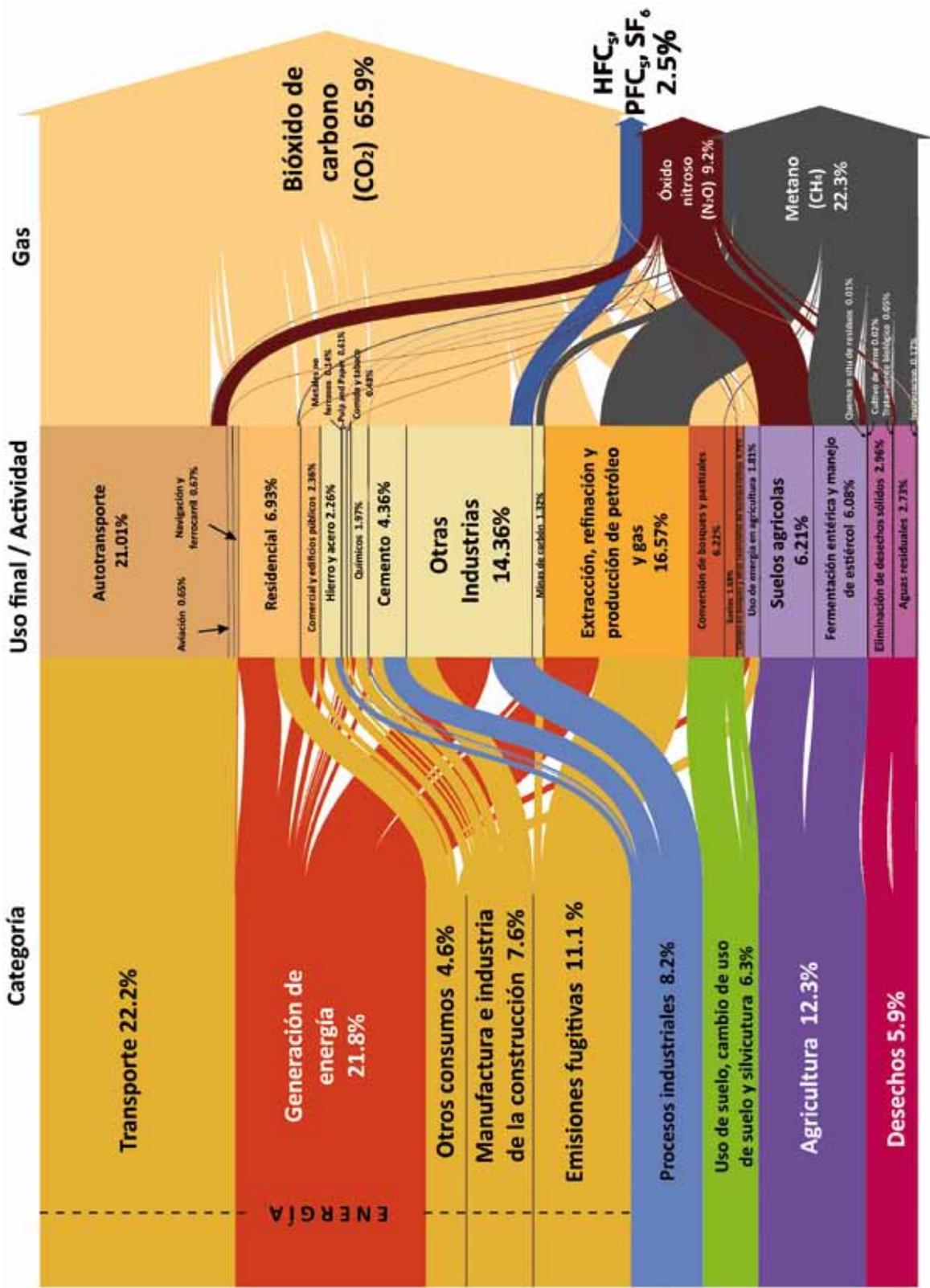
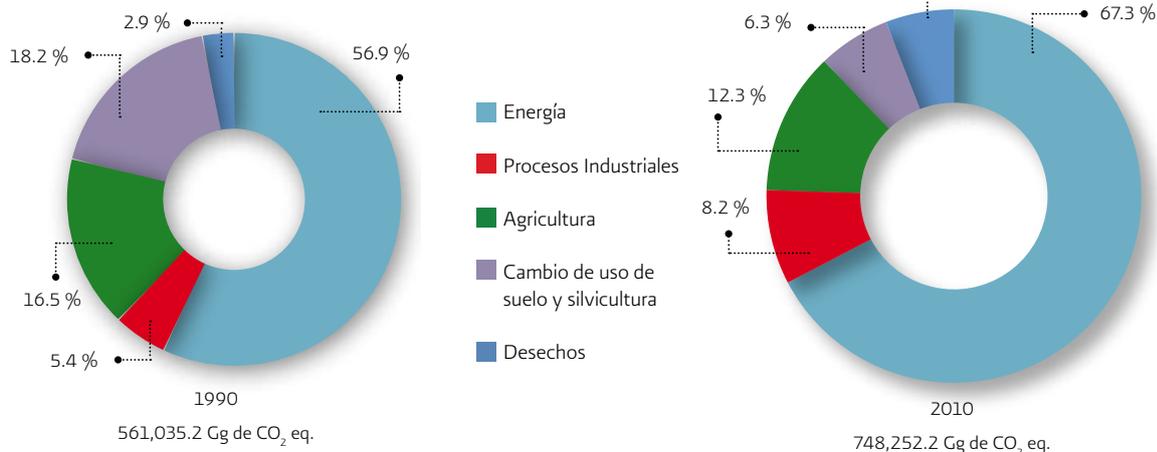


Figura IV.4. Participación de las categorías en las emisiones de GEI



IV.5 Emisiones de gases de efecto invernadero por gas

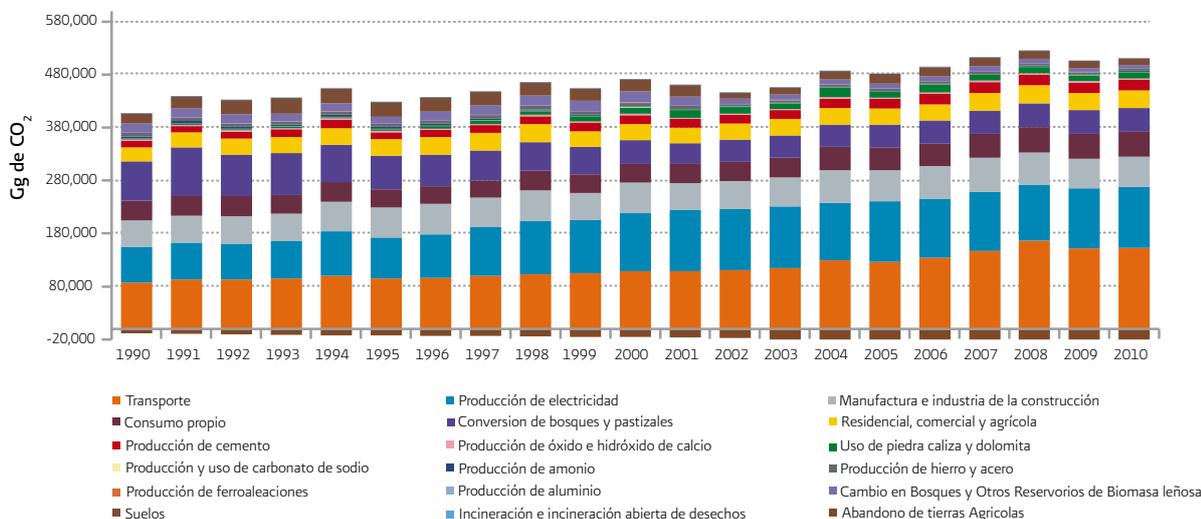
IV.5.1 Emisiones de bióxido de carbono (CO₂)

Las emisiones de CO₂ fueron de 493,450.6 Gg en 2010, contribuyeron en 65.9% al total del inventario y tuvieron un incremento de 23.6% con respecto a 1990. Las emisiones de CO₂ en el país provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles, USCUS y Procesos Industriales (Figura IV.5).

Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO₂ en el 2010 son: transporte, 31.1%; generación eléctrica, 23.3%; manufactura y construcción, 11.4%; consumo propio de la industria energética, 9.6%; conversión de bosques y pastizales, 9.2%, y otros (residencial, comercial y agropecuario), 6.7%.

Como puede observarse, cinco de las fuentes de emisión pertenecen al consumo de combustibles fósiles (1A) de la categoría Energía, y aportan 82.1% del total de CO₂ del inventario.

Figura IV.5. Emisiones por sector en Gg de CO₂, 1990-2010



IV.5.2 Emisiones de metano (CH₄)

En 2010 las emisiones de CH₄ fueron de 7,938.9 Gg, lo que representa un incremento de 59.8% con respecto a 1990. Las principales fuentes de emisión corresponden a las categorías de Desechos, Energía y Agricultura.

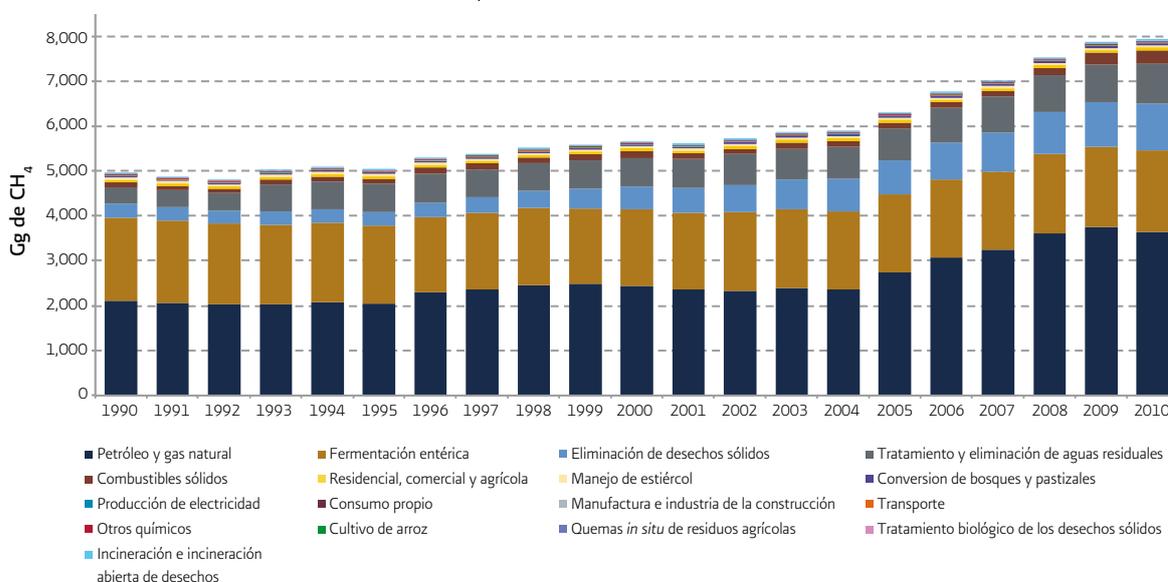
Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CH₄ en el 2010 son: emisiones fugitivas por petróleo y gas natural, 45.9%; fermentación entérica, 22.8%; eliminación de desechos sólidos, 13.3%; tratamiento y eliminación de aguas residuales, 11.1%; emisiones fugitivas por combustibles sólidos, 3.9% (Figura IV.6).

IV.5.3 Emisiones de óxido nítrico (N₂O)

En 2010 las emisiones de N₂O fueron de 223.0 Gg, lo que representa un incremento de 23.1% con respecto a 1990. La principal contribución proviene de: suelos agrícolas, 67.2%; transporte, 18.2%; manejo de estiércol, 9.3%; y tratamiento y eliminación de aguas residuales, 2.8%; fuentes que en conjunto representan el 97.5% de las emisiones de N₂O en 2010 (Figura IV.7).

En suelos agrícolas las emisiones provienen primordialmente del manejo de excretas y del uso de fertilizantes nitrogenados.

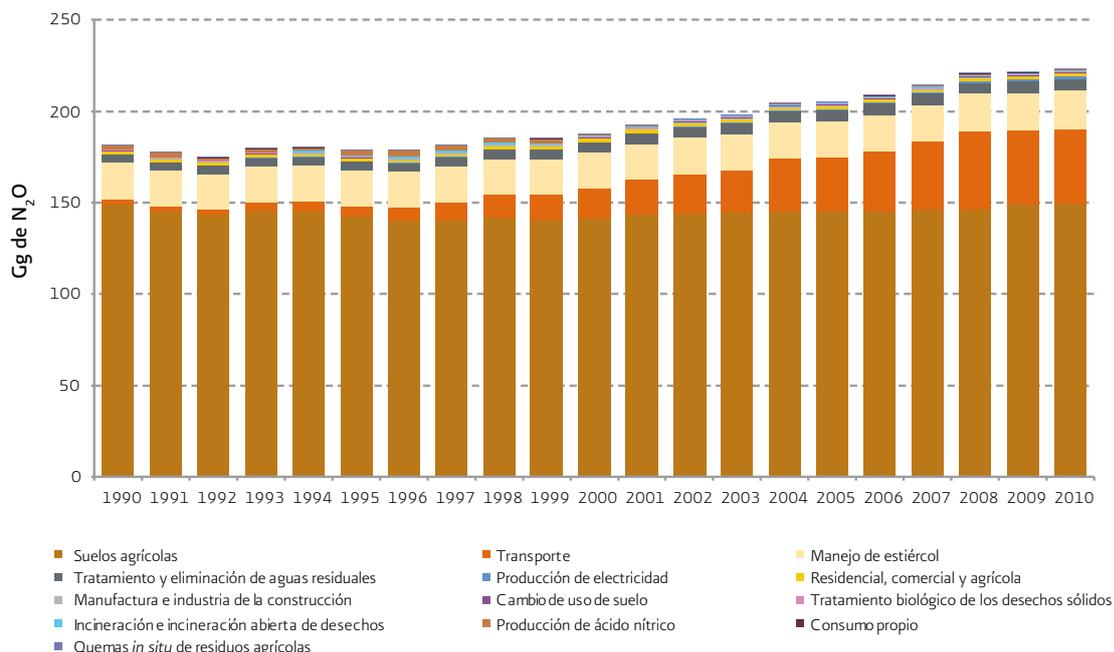
■ Figura IV.6. Emisiones por sector en Gg de CH₄



Las emisiones por eliminación de desechos sólidos se incrementaron de manera significativa (232.4%) entre 1990 y 2010, como consecuencia del impulso al mejor manejo de los residuos sólidos, en particular por la disposición en rellenos sanitarios, donde los procesos anaeróbicos son más eficientes que en tiraderos a cielo abierto; y por el incremento en el tratamiento de aguas residuales en nuestro país. Actualmente México realiza acciones para mitigar las emisiones de CH₄ (Ver Capítulo V).

El incremento en las emisiones de N₂O del transporte se atribuye principalmente al aumento en el parque vehicular nacional, al incremento en el consumo de combustible y a un mayor uso de convertidores catalíticos como parte del equipamiento de los modelos más recientes. El uso de convertidores catalíticos reduce las emisiones de contaminantes locales de los automotores: aproximadamente un promedio de 95% en el caso del monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos libres y 75% en el caso de los óxidos de nitrógeno (NO_x), emisiones perjudiciales para la salud de la población local.

Figura IV.7. Emisiones por sector en Gg de N₂O



IV.5.4 Emisiones de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y de hexafluoruro de azufre (HFC, PFC y SF₆)

Las emisiones de HFC provienen principalmente de los equipos de refrigeración y aire acondicionado que contienen esta familia de gases como agente refrigerante y en los paneles aislantes. En 2010 las emisiones de HFC totalizaron 18,692.3 Gg de CO₂ eq., lo que representa un incremento de 2,307% con respecto a 1990. Dicho incremento es reflejo de un mayor uso de HFC en refrigeradores y aires acondicionados de industrias, viviendas y automóviles; en sustitución de los CFC controlados por el Protocolo de Montreal⁵ y cuyo uso está restringido en el mundo. Los gases que más aportaron a las emisiones de HFC en 2010 fueron: HFC-134a, 52.2%; HFC-23 (subproducto del HCFC-22), 20.9%; HFC-125, 17.6%; HFC-143a, 5.9%; HFC-32, 3.2%, y el 0.2% res-

tante de HFC (43-10mee, 152a, 227ea, y 245ca). Las emisiones de HFC son potenciales, ya que estos gases están contenidos en los equipos y se liberarían únicamente en el caso de fugas o una mala disposición al final de su vida útil.

Con el propósito de disminuir la producción y consumo de HFC, utilizados en los rubros farmacéutico, refrigeración doméstica y aires acondicionados móviles; México, Estados Unidos y Canadá elaboraron una enmienda al Protocolo de Montreal, que busca reducir las emisiones de GEI a la atmósfera, a través de la adopción de calendarios de eliminación de HFC. La propuesta sugiere que los países desarrollados inicien su calendario de eliminación de producción y consumo de HFC en el año 2013, para llegar a una reducción de 85% en el año 2033; mientras que para las naciones en desarrollo se sugiere que disminuyan el mismo porcentaje de gases, pero que empiecen en 2016 y concluyan en 2043.⁶

⁵ El Protocolo de Montreal controla y restringe el uso mundial de los clorofluorocarbonos (CFC) que son sustancias químicas que destruyen la capa de ozono.

⁶ Comunicado de prensa 122/09, 4 de octubre de 2009. Disponible en <http://www.presidencia.gob.mx/2009/10/mexico-eu-y-canada-proponen-ajustes-al-protocolo-de-montreal-para-reducir-hidrofluorocarbonos/>

Las emisiones de perfluorocarbonos (PFC), en la forma de CF_4 y C_2F_6 , provienen de la producción de aluminio catalogada dentro de la categoría de Procesos Industriales. Las emisiones de PFC fueron de 128.4 Gg de CO_2 eq. en 2010. Entre 1990 y 2010 se tuvo un decremento en las emisiones de 80.1%, debido a una disminución en la producción de aluminio.

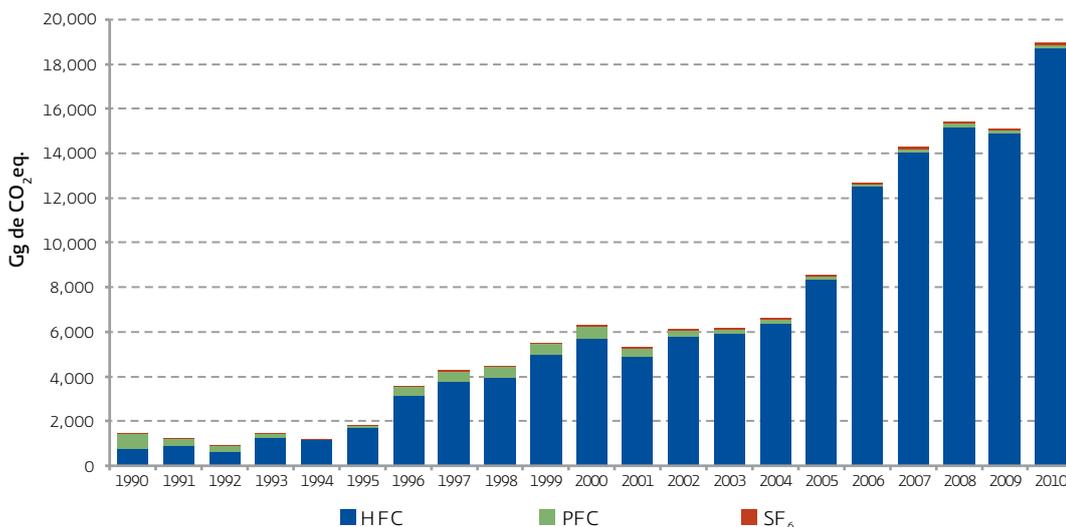
Las emisiones de SF_6 se originan como emisiones potenciales en equipos y circuitos eléctricos que contienen este gas como agente dieléctrico (aislante). Para el periodo 1990-2010 se estimaron las emisiones de SF_6 con base en el inventario de equipos eléctricos de CFE que contenían este gas. En 2010 las emisiones fueron de 124.4 Gg de CO_2 eq., lo que representa un incremento de 319.7% con respecto a las emisiones de 1990. Estas cifras se basan en supuestos de emisiones potenciales que un equipo puede liberar año con año a lo largo de su vida útil (Figura IV.8).

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_2 , CH_4 y N_2O y otros gases denominados precursores de ozono, que son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes de metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO_2). Las emisiones de CO_2 y SO_2 dependen del contenido de carbono y azufre en el combustible. Las emisiones de los otros gases dependen de las condiciones de combustión y de la tecnología.

En la subcategoría de Emisiones fugitivas (1B) se estiman emisiones de CH_4 provenientes de minado y manejo del carbón, CH_4 y CO_2 por las actividades de la industria del petróleo y gas; para estas últimas también se estiman las emisiones de gases precursores de ozono.

■ Figura IV.8. Emisiones de HFC, PFC y SF_6 en Gg de CO_2 eq.



IV.6 Emisiones de gases de efecto invernadero por categoría

IV.6.1 Energía

La categoría de Energía (1) incluye las emisiones que son resultado de la exploración, producción, transformación,

En 2010 las emisiones de GEI para esta categoría, expresadas en CO_2 eq., registraron un aumento de 56.5% con respecto al año base (1990), pasando de 324,290.0 Gg a 507,426.7 Gg, a una TCMA de 2.3% (Cuadro IV.3).

■ Cuadro IV.3. Emisiones de la categoría de Energía (Gg de CO₂ eq.)

Año	Subcategoría		Total
	Combustión de combustibles fósiles*	Emisiones fugitivas	
	Gg de CO ₂ eq.		
1990	272,570.3	46,603.5	319,173.8
1991	282,420.7	45,189.4	327,610.1
1992	283,680.7	44,357.6	328,038.4
1993	287,572.1	44,711.0	332,283.1
1994	313,401.4	45,953.8	359,355.2
1995	299,223.9	45,155.8	344,379.7
1996	307,254.1	50,989.0	358,243.1
1997	318,912.1	52,219.9	371,132.1
1998	339,026.6	54,267.7	393,294.3
1999	328,454.9	54,999.4	383,454.3
2000	349,551.1	54,354.2	403,905.3
2001	349,406.8	52,167.6	401,574.4
2002	354,941.6	51,355.9	406,297.4
2003	363,681.3	53,142.9	416,824.2
2004	386,106.1	52,211.0	438,317.1
2005	384,500.4	60,187.4	444,687.8
2006	393,208.5	66,837.1	460,045.6
2007	415,524.1	70,671.8	486,195.9
2008	431,399.8	79,204.7	510,604.6
2009	415,834.9	84,213.5	500,048.4
2010	420,697.9	83,119.8	503,817.6

* Incluye emisiones de biomasa distintas al CO₂.

En 2010 la principal emisión de la categoría de Energía fue el CO₂, que contribuyó con 80.4% (405,130.2 Gg) del total, seguida por las emisiones de CH₄, 16.9% (84,966.0 Gg de CO₂ eq.), y N₂O, 2.7% (13,721.4 Gg de CO₂ eq.)⁷ (Cuadro IV.4). Las emisiones de N₂O se

generan principalmente por el consumo de combustibles fósiles en el autotransporte. Las emisiones fugitivas derivadas de la exploración y las de CO₂ que resultan de la refinación de petróleo no han sido consideradas en el INEGI debido a la falta de datos de actividad.

⁷ Es posible que la suma total de las cantidades no sea del 100% debido al redondeo de las cifras.

■ Cuadro IV.4. Emisiones por GEI para la categoría de Energía (Gg de CO₂ eq.)

Año	Gas			Total	CO ₂ por consumo de biomasa*
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Gg de CO ₂ eq.					
1990	269,455.3	48,133.3	1,585.3	319,173.8	33,716.1
1991	279,167.5	46,771.2	1,671.4	327,610.1	35,156.1
1992	280,415.6	45,945.8	1,677.0	328,038.4	34,621.2
1993	284,001.4	46,313.6	1,968.1	332,283.1	35,758.8
1994	309,500.1	47,575.2	2,279.9	359,355.2	34,443.1
1995	295,142.4	46,770.0	2,467.3	344,379.7	35,946.7
1996	302,594.4	52,603.0	3,045.7	358,243.1	36,032.9
1997	313,437.0	53,848.4	3,846.7	371,132.1	37,096.7
1998	332,631.7	55,911.1	4,751.4	393,294.3	37,572.7
1999	321,696.4	56,633.0	5,124.8	383,454.3	36,921.9
2000	341,863.7	56,150.1	5,891.4	403,905.3	40,078.7
2001	340,865.1	53,884.6	6,824.8	401,574.4	38,541.6
2002	345,610.2	53,081.2	7,606.0	406,297.4	38,354.1
2003	353,845.5	54,887.8	8,090.9	416,824.2	38,547.1
2004	374,622.0	54,014.3	9,680.8	438,317.1	38,687.4
2005	372,648.4	61,963.3	10,076.1	444,687.8	40,114.8
2006	380,383.8	68,631.3	11,030.5	460,045.6	38,924.2
2007	401,286.7	72,508.5	12,400.6	486,195.9	38,751.0
2008	415,243.6	81,107.6	14,253.4	510,604.6	39,003.2
2009	400,425.7	86,064.9	13,557.7	500,048.4	37,787.3
2010	405,130.2	84,966.0	13,721.5	503,817.6	37,387.2

* Información adicional, ya que estas emisiones no se suman al INEGEI.

El Cuadro IV.5 muestra las emisiones de CO₂ por tipo de combustible. Como puede observarse, en 2010 el consumo de gasolina y gas natural representan la mayor contribución a las emisiones de esta categoría, 25.4% (102,755 Gg) y 31.0% (125,568 Gg), respectivamente. Les siguen en importancia el diesel y combustóleo, que aportan 14.7% (59,382 Gg) y 9.8% (39,639 Gg), respectivamente, y el restante 20% corresponde al carbón, coque de carbón, coque de petróleo, gas licuado del petróleo (GLP) y querosenos. Entre 1990 y 2010 las emisiones de CO₂ por gas natural se incrementaron

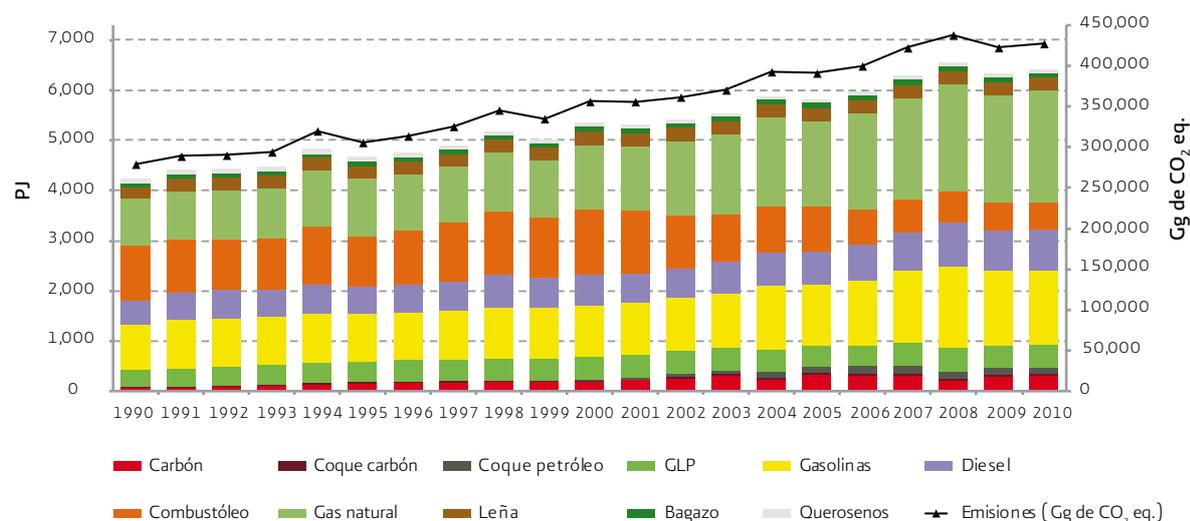
141.5%, mientras que las relacionadas con el consumo de carbón se incrementaron 324.4%; y las de coque de petróleo, combustible del cual se informó por primera vez en el Balance Nacional de Energía para el año 2000, crecieron 231% para 2010. El uso del combustóleo se redujo 52.8% y los querosenos 25.3% en el mismo periodo. En la Figura IV.9 se muestra el consumo energético y las emisiones asociadas en Gg de CO₂ eq.

■ Cuadro IV.5. Emisiones por combustible (Gg de CO₂)

Combustible	1990	2010	Cambio en el periodo
	Gg de CO ₂		%
Carbón	7,050.0	29,921.5	324.4
Coque carbón*	1,154.4	3,165.0	174.2
Coque petróleo	-	11,524.8	
GLP	20,638.3	28,317.0	37.2
Gasolinas	62,460.4	102,754.8	64.5
Querosenos	6,504.7	4,857.6	-25.3
Diesel	35,623.5	59,381.9	66.7
Combustóleo	84,019.8	39,639.2	-52.8
Gas natural	52,004.2	125,568.3	141.5

* Se sustrajo el consumo de coque de carbón que se utiliza en la industria siderúrgica como materia prima (INEGI, varios años).

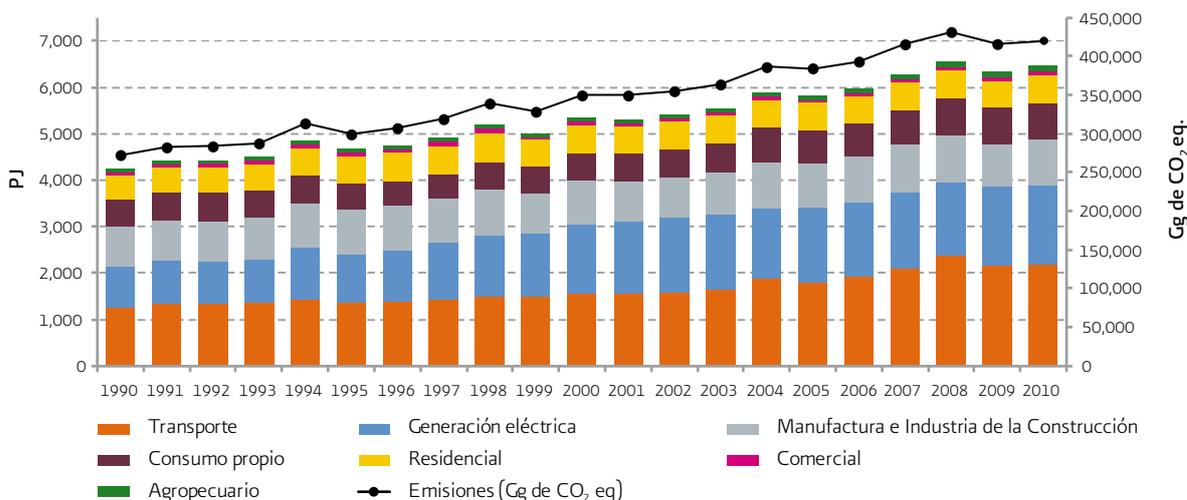
■ Figura IV.9. Emisiones (Gg de CO₂ eq.) asociadas al consumo de combustibles fósiles (PJ)



Los grandes cambios en la estructura del consumo de combustibles (Figura IV.10 y Cuadro IV.6) ocurrieron en el sector de las industrias energéticas (consumo propio y generación eléctrica), en las cuales aumentó el uso de carbón y gas natural y disminuyó el de combustóleo, que

alcanzó su máximo en el 2000 y a partir del año 2001 comenzó a descender; a esta disminución contribuyeron los sectores comercial, residencial y agropecuario, cuyo consumo representó menos de 3.2% en el periodo 1990-1998, y a partir de 1999 desapareció.

Figura IV.10. Emisiones (Gg de CO₂ eq.) por sector, asociadas al consumo de combustibles fósiles (PJ)



Cuadro IV.6. Emisiones por sector (Gg de CO₂ eq.)

Sector	Emisiones		Contribución		TCMA*
	1990	2010	1990	2010	
	Gg de CO ₂ eq.		%		
1A Consumo de combustibles fósiles					
Consumo propio	37,228.8	47,431.9	11.7	9.4	1.2
Generación eléctrica	66,856.6	115,537.4	20.9	22.9	2.8
Manufactura e industria de la construcción	50,921.3	56,740.8	16.0	11.3	0.5
Transporte	89,149.3	166,412.0	27.9	33.0	3.2
Comercial	3,730.6	4,842.6	1.2	1.0	1.3
Residencial	19,672.7	21,460.1	6.2	4.3	0.4
Agropecuario	5,011.1	8,273.1	1.6	1.6	2.5
<i>Subtotal</i>	277,686.5	424,307.0	85.4	83.5	2.2
1B Emisiones fugitivas					
Minado y manejo del carbón	2,366.8	6,556.9	0.7	1.3	5.2
Industria del petróleo y gas	44,236.7	76,562.9	13.9	15.2	2.8
<i>Subtotal</i>	46,603.5	83,119.8	14.6	16.5	2.9
Total	319,173.8	503,817.6			2.3

* TCMA: Tasa de Crecimiento Media Anual.

Es posible que la suma total de las cantidades no sea de 100% debido al redondeo de las cifras.

En manufactura e industria de la construcción aumentó el consumo de coque de carbón, coque de petróleo y bagazo. En el sector transporte, aun cuando no hubo grandes cambios en la matriz de los combustibles, disminuyó ligeramente la proporción del uso de gasolinas, aumentando la participación del GLP y diesel. Finalmente, en los sectores residencial, comercial y agropecuario aumentó ligeramente la proporción del uso del GLP y diesel (Cuadro IV.6).

Para el año 2010 las emisiones de GEI en unidades de CO₂ eq. generadas en la categoría de Energía provinieron del transporte (1A3), que contribuyó con 33.0% (166,412.0 Gg), seguida por la industria generadora de energía (1A1), 32.3% (162,969.2 Gg); manufactura e industria de la construcción (1A2), 11.3% (56,740.8 Gg); emisiones fugitivas, 16.5% (83,119.8 Gg), y otros sectores (residencial, comercial y agropecuario), 6.9% (34,575.8 Gg).

A nivel de subcategoría, las emisiones correspondientes al consumo de combustibles fósiles en CO₂ eq. presentan variación en su contribución en 2010 con respecto a 1990 (Cuadro IV.6 y Figura IV.10). Por ejemplo, la del transporte aumentó de 32.7% (89,149.3 Gg) a 39.6% (166,412.0 Gg), y en la industria de la energía, la de generación eléctrica aumentó de 24.5% (66,856.6 Gg) a 27.5% (115,537.4 Gg). Por otra parte, la participación de las emisiones provenientes de la manufactura e industria de la construcción se redujo de 18.7% (50,921.3 Gg) a 13.5% (56,740.8 Gg), la de otros sectores, de 10.4% (28,414.4 Gg) a 8.2% (34,575.8 Gg),

y las de consumo propio dentro de la industria de la energía, de 13.7% (37,228.8 Gg) a 11.3% (47,431.9 Gg).

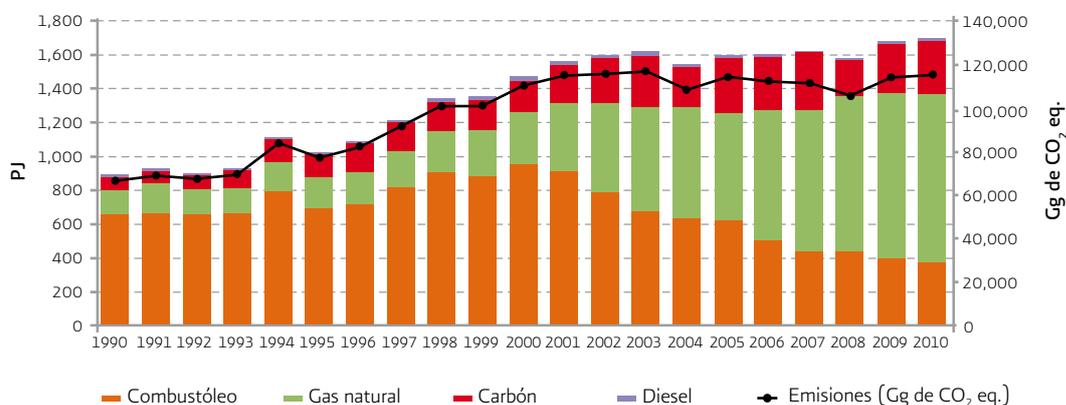
Industria de la energía

La subcategoría de la industria de la energía está conformada por la generación de electricidad y el consumo propio, que se refiere a la energía primaria y secundaria que el propio sector energético (PEMEX y CFE) utiliza para el funcionamiento de sus instalaciones.

Las emisiones por la generación de electricidad tuvieron en el periodo 1990-2010 una TCMA de 2.8%, que representó un crecimiento de 72.8% con respecto a 1990, al pasar de 66,856.6 a 115,537.4 Gg de CO₂ eq. En este sector, en 2010 la participación en las emisiones generadas por el uso de combustibles fue la siguiente: gas natural, 47.7% (55,140.2 Gg); combustóleo, 25% (28,928.5 Gg); carbón, 26.3% (30,386.5 Gg), y diesel, 0.9% (1,082.2 Gg) (Figura IV.11).

De acuerdo con información de SENER (SENER, 2003 y 2011), entre 1991 y 2010 la capacidad instalada y la generación bruta del Sistema Eléctrico Nacional se incrementaron en 107.8% y 112% (SENER, 2011a), respectivamente, como resultado de la inversión en sistemas duales y de ciclo combinado, y la entrada de productos independientes de energía, entre otros factores. La TCMA de las emisiones fue 2.8%, mientras que para la capacidad instalada fue 3.7% y para la generación bruta, 3.8%.

■ Figura IV.11. Consumo energético (PJ) de la generación de electricidad y la tendencia de emisiones (Gg de CO₂ eq.)



En cuanto al consumo propio, las emisiones aumentaron 27.4% con respecto a 1990, pasando de 37,228.8 a 47,431.9 Gg de CO₂ eq., aunque el consumo propio del sector registró en el periodo un aumento de 38.7% en la demanda de combustibles fósiles, la TCMA fue de 1.2% (Figura IV.12).

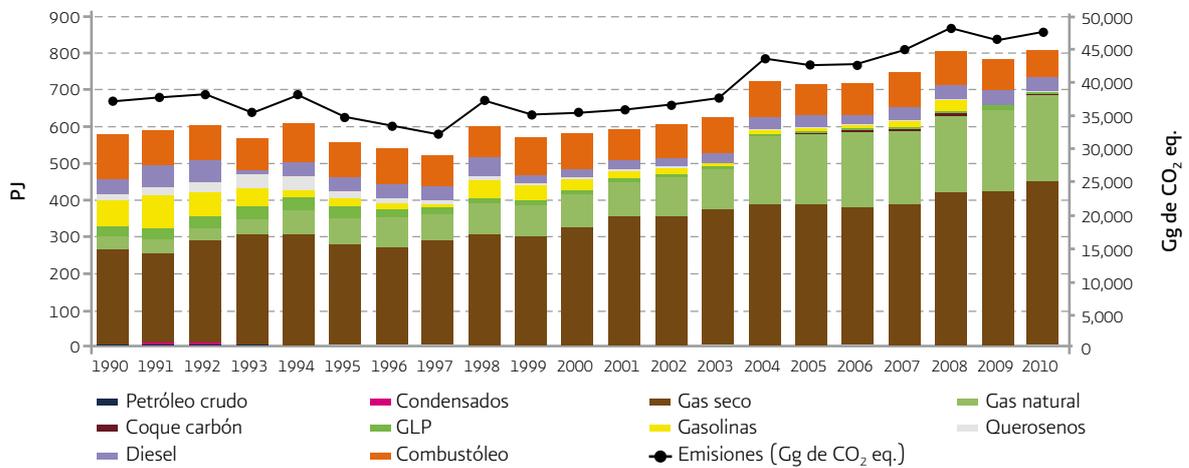
Transporte

Las emisiones totales de GEI en CO₂ eq. del sector transporte registraron en el periodo una TCMA de 3.2%, y

en 2010 fueron de 166,412.0 Gg. La contribución por modalidad fue: automotor, 94.5% (157,242.4 Gg); aéreo, 2.9% (4,886.5 Gg); marítimo, 1.4% (2,341.0 Gg), y ferroviario, 1.2% (1,942.0 Gg).

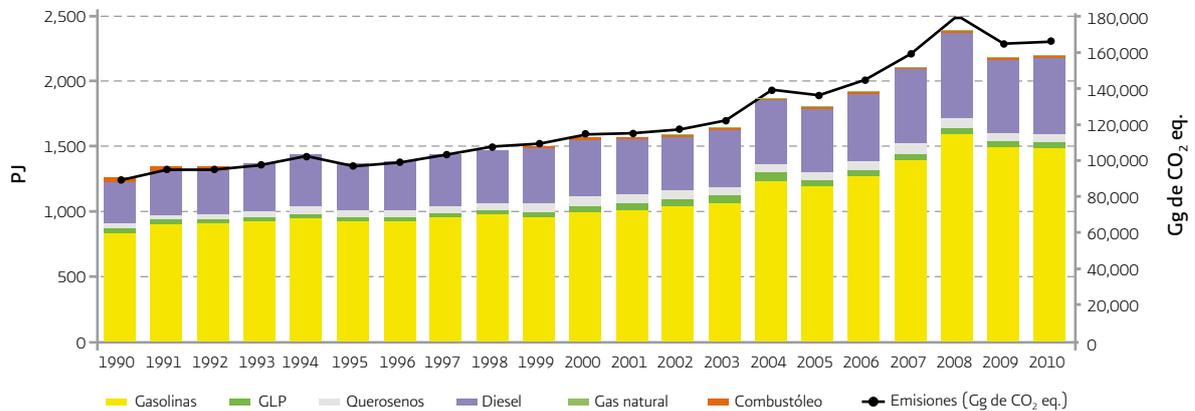
En cuanto a consumo de combustibles, la gasolina aporta 69.2% (115,158.7 Gg) de las emisiones; el diesel, 26.1% (43,466.9 Gg); los querosenos, 2.9% (4,822.1 Gg); el GLP, 1.6% (2,579.7 Gg), y el restante 0.2% (384.5 Gg) proviene del combustóleo y el gas natural (Figura IV.13).

■ Figura IV.12. Consumo propio de energía (PJ) y la tendencia de emisiones (Gg de CO₂ eq.)



* Gas seco: Hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del gas natural en refinerías y plantas de gas, después de extraer los licuables; se compone por CH₄ y pequeñas cantidades de etano (SENER, 2011).

■ Figura IV.13. Consumo energético (PJ) del sector transporte y la tendencia de emisiones (Gg de CO₂ eq.)



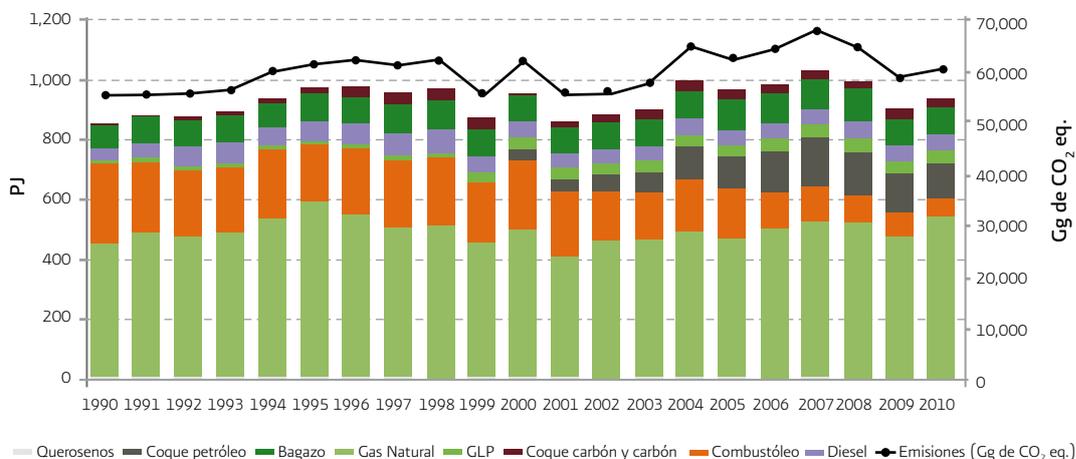
Manufactura e industria de la construcción

Las emisiones en CO₂ eq. por consumo de combustibles fósiles en el sector de manufactura e industria de la construcción en 2010 fueron de 56,740.8 Gg; su crecimiento con respecto a 1990 (50,921.3 Gg) fue de 11.4% y su TCMA de 0.5%. La contribución a las emisiones por rama industrial en 2010 fue: hierro y acero, 13.7% (7,797.9 Gg); industria química, 16.8% (9,559.1 Gg); cemento, 16.7% (9,456.9 Gg); pulpa, papel e impresión, 4.3% (2,496.4 Gg); procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, 4.3% (2,428.8 Gg); metales no ferrosos, 0.1% (70.2 Gg); y otras ramas de la industria menos intensivas en consumo de energía, 43.9% (24,931.5 Gg) (Figura IV.14).

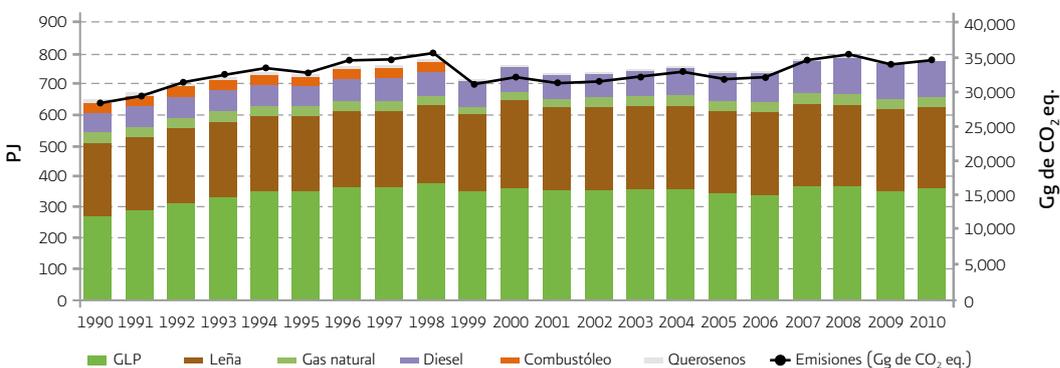
Otros sectores usuarios de la energía

Las emisiones en CO₂ eq. de esta subcategoría, fueron de 34,575.8 Gg en 2010. El sector residencial contribuyó con 62.1% (21,460.1 Gg), seguido por el agropecuario con 23.9% (8,273.1 Gg) y el comercial con 14% (4,842.6 Gg). Respecto a la categoría de Energía, la participación porcentual de estos sectores fue: residencial, 5.1%; agropecuario, 1.9%; y comercial, 1.1%; sus respectivas TCMA fueron: 0.4%, 2.5% y 1.3% (Figura IV.15).

■ Figura IV.14. Consumo energético (PJ) de la manufactura e industria de la construcción y la tendencia de emisiones (Gg de CO₂ eq.)



■ Figura IV.15. Consumo energético (PJ) por combustible de otros sectores* y la tendencia de emisiones (Gg de CO₂ eq.)

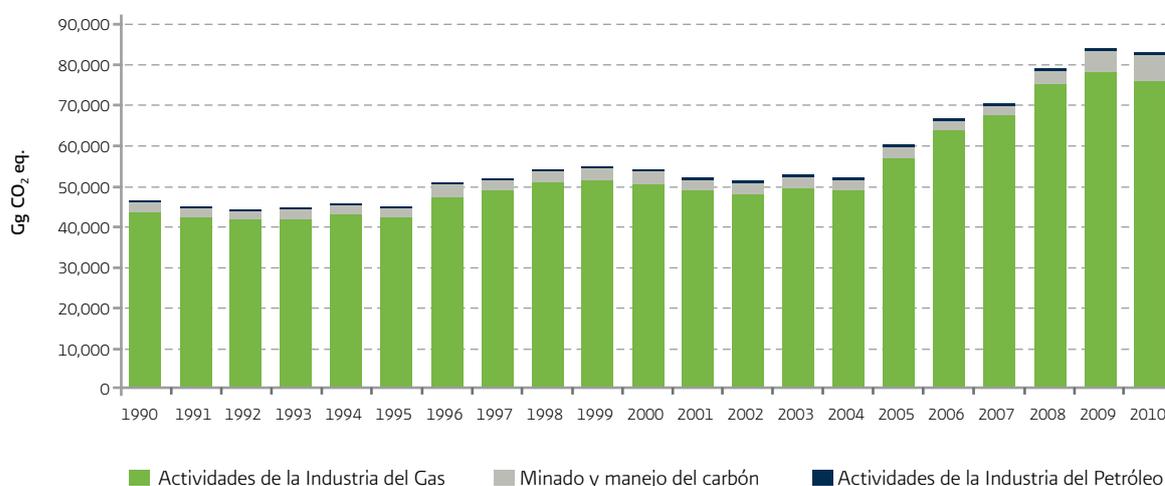


* Residencial, comercial y agropecuario.

Emisiones fugitivas

En el periodo 1990-2010, las emisiones fugitivas de metano tuvieron un crecimiento de 78.4%, equivalente a una TCMA de 2.9%, al pasar de 46,603.5 Gg de CO₂ eq. en 1990 a 83,119.8 Gg de CO₂ eq. en 2010. En este último año, la participación de las actividades de la industria de petróleo y gas⁸ fue 92.1% (76,562.9 Gg) y la del proceso de minado y manejo del carbón, 7.9% (6,556.9 Gg) (Figura IV.16), mientras que en 1990 sus respectivas contribuciones fueron de 94.9% y 5.1%.

■ Figura IV.16. Emisiones fugitivas de metano provenientes de las actividades del carbón y de la industria del petróleo y gas (Gg de CO₂ eq.)



Métodos de referencia y sectorial

Las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles pueden estimarse mediante dos métodos de Nivel 1. En el método de referencia, los cálculos se realizan de acuerdo a la cantidad de combustibles fósiles ofertados en el país y a 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 a la *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (GBP), “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” (PICC, 2000).⁹

Se considera una buena práctica el estimar las emisiones de CO₂ 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” (PICC, 2000).

⁸ Las actividades de petróleo comprenden producción, transporte, refinación y almacenamiento. Las actividades de gas comprenden la producción, procesamiento, transporte y distribución, y además fugas industriales, venteo y quema en antorcha.

⁹ “Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”. Capítulo 2, Energía. Pág. 2.9.

México cuenta con estadísticas sobre el suministro anual de combustibles, y 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 INEGI 1990-2010, las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles se estimaron por ambos métodos (Cuadro IV.7).

Para algunos años, las cifras estimadas mediante el método de referencia son menores a las del método sectorial, lo que ocasiona diferencias negativas; esto ocurre cuando las exportaciones de algunos productos energéticos secundarios (contabilizados de manera individual) son mayores a la suma de las importaciones y las variaciones de inventarios, es decir, se considera como una salida neta de energía del país. El método de referencia calcula el suministro de combustibles fósiles primarios¹⁰ y realiza ajustes por importaciones netas, suministro a aviones y embarcaciones internacionales, y cambios en inventarios de productos energéticos secundarios.¹¹

Emisiones del transporte internacional aéreo y marítimo

De acuerdo a las directrices del PICC, 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 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.

Las emisiones de 2010 crecieron 170% respecto a las emisiones de 1990, pasando de 1,256.5 a 3,432.1 Gg de CO₂ eq. La TCMA fue de 5.1% (Figura IV.18).

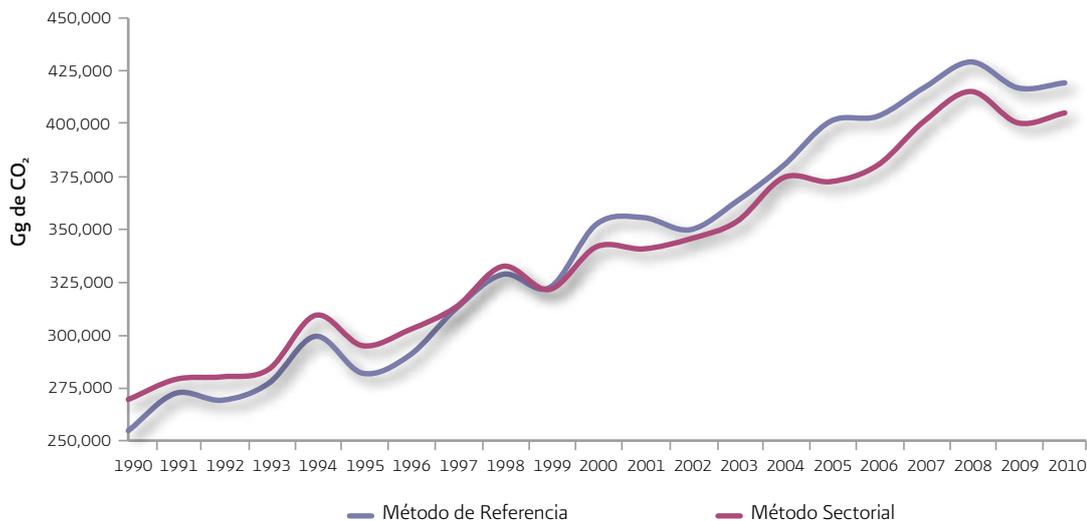
¹⁰ Los productos energéticos primarios son carbón, gas natural, condensados del gas natural y petróleo crudo.

¹¹ Los productos energéticos secundarios son combustóleo, diesel, gasolinas, gas LP, gas natural seco, productos no energéticos, y querosenos.

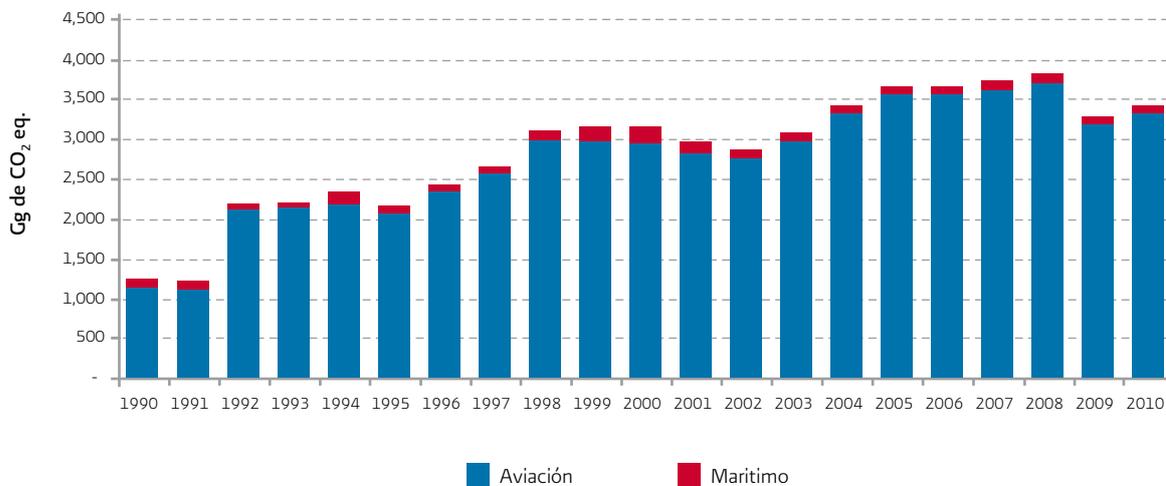
■ Cuadro IV.7. Comparación de emisiones (Gg de CO₂)

Año	Método de Referencia	Método Sectorial	Diferencia porcentual
	Gg de CO ₂		%
1990	254,670.6	269,455.3	-5.5
1991	272,468.2	279,167.5	-2.4
1992	269,259.3	280,415.6	-4.0
1993	277,289.0	284,001.4	-2.4
1994	299,475.8	309,500.1	-3.2
1995	282,053.9	295,142.4	-4.4
1996	290,392.4	302,594.4	-4.0
1997	312,562.1	313,437.0	-0.3
1998	328,813.8	332,631.7	-1.1
1999	322,566.0	321,696.4	0.3
2000	352,520.1	341,863.7	3.1
2001	355,644.7	340,865.1	4.3
2002	349,897.7	345,610.2	1.2
2003	363,415.1	353,845.5	2.7
2004	380,393.9	374,622.0	1.5
2005	401,187.5	372,648.4	7.7
2006	403,526.3	380,383.8	6.1
2007	417,142.0	401,286.7	4.0
2008	429,220.2	415,243.6	3.4
2009	416,956.8	400,425.7	4.1
2010	419,346.3	405,130.2	3.5

■ Figura IV.17. Comparación gráfica del método de referencia y el sectorial



■ Figura IV.18. Emisiones atribuidas al transporte aéreo y marítimo internacional (Gg de CO₂ eq.)



IV.6.2 Procesos Industriales

La categoría de Procesos Industriales (2) 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, 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 a las Directrices del PICC de 1996, las emisiones de GEI que se contabilizan en esta categoría incluyen al CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆. También se emiten otros gases denominados precursores de ozono, como son el CO, NO_x, COVDM y SO₂.

Las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O son generadas por una gran variedad de actividades industriales en las que se transforman materias primas en productos mediante métodos químicos o físicos. Los HFC se utilizan directamente 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 son consideradas como 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. En el caso de México, los PFC no se consumen como sustitutos de SAO (SEMARNAT, 2012). El hexafluoruro de azufre se emplea como dieléctrico en circuitos eléctricos y como solvente en algunas industrias.

Las emisiones de GEI (Cuadro IV.8 y 9) derivadas de los procesos industriales se incrementaron 102.6%, pa-

sando de 30,265.6 Gg de CO₂ eq. en 1990 a 61,308.9 Gg de CO₂ eq. en 2010 (Figura IV.19). Este aumento se debió principalmente al crecimiento en la utilización de piedra caliza y dolomita,¹² la producción de cemento y un aumento significativo en el consumo de gases fluorados (HFC y SF₆). Por su parte, las emisiones de GEI de la industria química, disminuyeron notablemente durante este periodo (66.2%), al pasar de 4,579.8 Gg de CO₂ eq. en 1990 a 1,548.9 Gg de CO₂ eq. en 2010; como resultado de una reducción en la producción de petroquímicos básicos y secundarios.

■ Cuadro IV.8. Emisiones de GEI (Gg de CO₂ eq.) de las subcategorías de Procesos Industriales

Subcategoría	1990	2010	1990	2010	TCMA*
	Gg de CO ₂ eq.		Contribución %		%
ZA Productos minerales	16,471.7	35,233.7	54.4	57.1	3.9
ZB Industria química	4,579.8	1,548.9	15.1	2.5	-5.3
ZC Producción de metales	8,408.0	5,709.6	27.8	9.3	-1.9
ZE Producción de halocarbonos y SF ₆	776.5	3,897.8	2.6	6.4	8.4
ZF Consumo de halocarbonos y SF ₆	29.6	14,919.0	0.1	24.3	36.5
Total	30,265.6	61,308.9			3.6

* TCMA: Tasa de Crecimiento Media Anual.

■ Cuadro IV.9. Emisiones de GEI (Gg de CO₂ eq.) por gas en la categoría de Procesos Industriales 1990-2010

Año	Gas				Total
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC, PFC, SF ₆	
	Gg de CO ₂ eq.				
1990	28,180.9	83.1	548.7	1,452.9	30,265.6
1991	28,482.7	74.0	654.9	1,239.9	30,451.4
1992	29,480.9	77.1	340.0	925.4	30,823.3
1993	29,602.6	66.6	424.1	1,475.7	31,569.1
1994	31,746.6	71.5	464.3	1,214.9	33,483.3
1995	29,736.5	76.6	875.9	1,832.6	32,521.5
1996	32,693.7	77.6	1,100.7	3,580.4	37,452.5
1997	35,075.8	75.3	850.8	4,329.8	40,331.7

¹² La piedra caliza y la dolomita se utilizan como materias primas en la producción de cal viva, cal hidratada y cemento. Durante el proceso, los materiales se calcinan, lo que da origen a las emisiones de

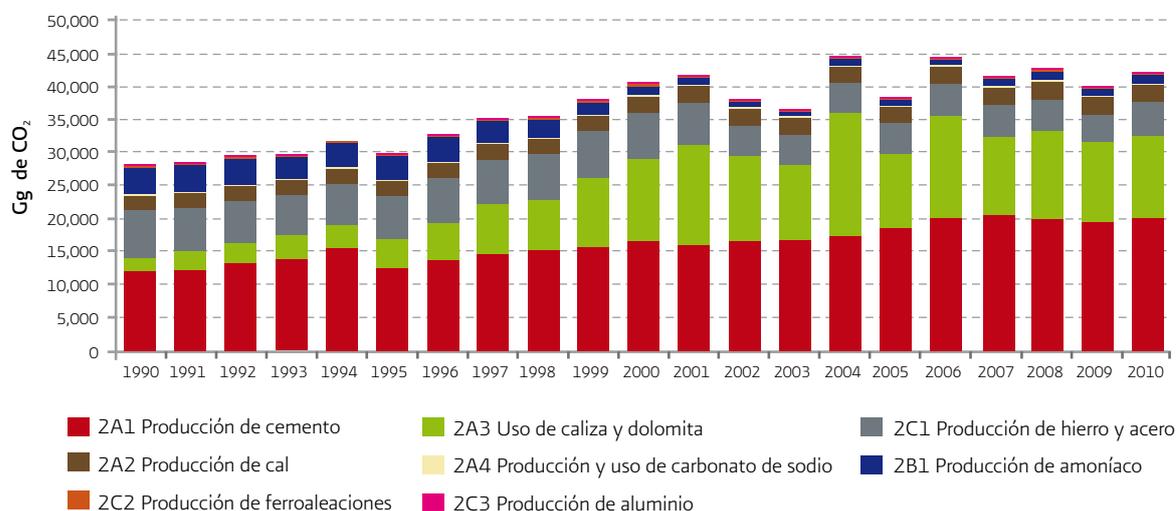
CO₂. La cal viva es utilizada en la industria del cemento, la siderurgia y la construcción.

Año	Gas				Total
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC, PFC, SF ₆	
	Gg de CO ₂ eq.				
1998	35,426.7	75.9	773.8	4,561.4	40,837.8
1999	37,891.2	72.2	643.0	5,629.1	44,235.6
2000	40,395.3	73.3	278.8	6,286.4	47,033.7
2001	41,556.4	62.9	232.6	5,304.3	47,156.3
2002	37,948.0	61.2	120.5	6,144.8	44,274.5
2003	36,434.6	66.4	111.9	6,174.0	42,787.0
2004	44,483.0	70.3	111.1	6,617.4	51,281.8
2005	38,144.2	68.0	116.9	8,570.8	46,900.0
2006	44,335.6	69.6	132.8	12,716.2	57,254.2
2007	41,432.6	66.2	132.2	14,318.1	55,949.1
2008	42,538.6	69.1	131.6	15,427.9	58,167.2
2009	40,147.0	70.7	131.0	15,142.0	55,490.7
2010	42,163.4	70.0	130.4	18,945.1	61,308.9

El principal GEI emitido en la categoría de Procesos Industriales fue el CO₂ (Figura IV.19 y 20), que representó 68.8% de las emisiones totales de GEI de la categoría en 2010. En el periodo 1990-2010 las emisiones de CO₂ por Procesos Industriales se incrementaron 49.6%, pasando de 28,180.9 Gg a 42,163.4 Gg de CO₂, lo que

equivale a una TCMA de 2.0%. Las emisiones de CO₂ por el uso de piedra caliza y dolomita son las que presentaron un mayor crecimiento en comparación con las otras fuentes de emisión de este gas, ya que aumentaron 521.7% entre 1990 y 2010, equivalente a una TCMA de 9.6%.

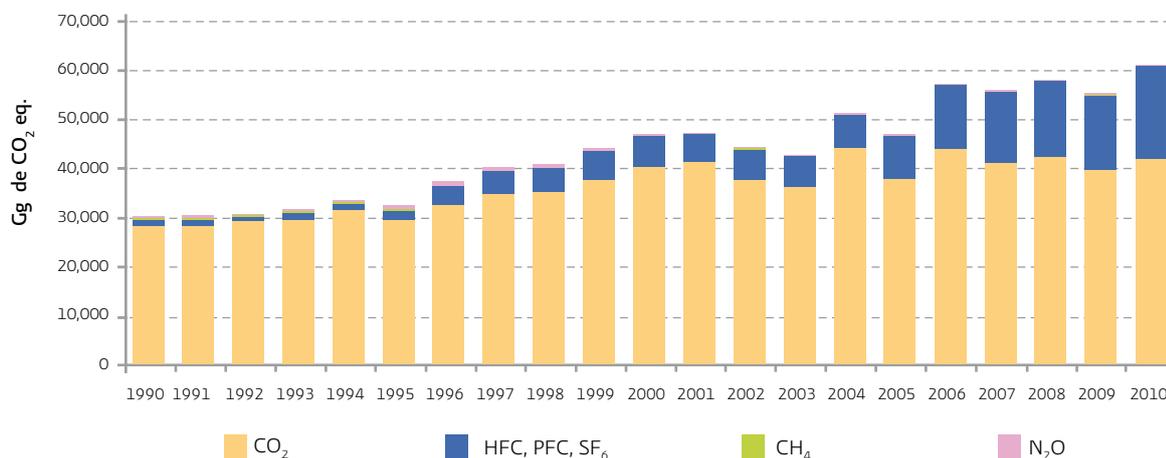
■ Figura IV.19. Emisiones de GEI (Gg de CO₂) de la categoría Procesos Industriales, por subcategoría de fuente de emisión



En el periodo 1990-2010, el comportamiento de las emisiones de CO₂ por fuente de emisión fue como sigue: por la producción de cemento, crecieron 65.2%, de 12,108.1 Gg a 20,003.3 Gg; por la producción de hierro y acero, se redujeron 29.5%, de 7,245.2 Gg a 5,111.0 Gg, con una TCMA negativa de 1.7%; por la producción

durante el periodo, aumentó la capacidad y el volumen de producción de cemento en México, como consecuencia de una mayor demanda nacional y el crecimiento de las exportaciones. De igual manera, el crecimiento de la edificación y la construcción de infraestructura en el país, acarreó el aumento de la producción y consumo de

■ Figura IV.20. Emisiones de GEI (Gg de CO₂ eq.) por gas en la categoría de Procesos Industriales



de amoníaco, se redujeron en 65.8%, de 3,948.0 Gg a 1,348.5 Gg, principalmente como resultado de la caída de dicha actividad productiva dentro del país; y por la producción de aluminio, se redujeron 69.3%, de 97.7 Gg a 30 Gg.

En 2010 las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CO₂ fueron: producción de cemento, 47.4% (20,003.3 Gg); uso de piedra caliza y dolomita, 29.6% (12,445.7 Gg); producción de hierro y acero, 12.1% (5,111.0 Gg). En menor medida, otras fuentes que contribuyeron a estas emisiones fueron: producción de cal, 6.3% (2,664.3 Gg); producción de amoníaco, 3.2% (1,348.5 Gg); carbonato de sodio, 0.3% (120.4 Gg); producción de ferroaleaciones, 1.0% (440.2 Gg), y producción de aluminio, 0.1% (30.0 Gg).

En el periodo 1990-2010, las emisiones de CO₂ en la categoría de Procesos Industriales tuvieron un cambio significativo, que se reflejó en los cambios porcentuales de las diferentes subcategorías de emisión. Por ejemplo,

piedra caliza y dolomita, que son materias primas de los procesos de construcción.

Como se muestra en la Figura IV.19, durante el periodo 1990 a 2010 la producción de cemento se ha mantenido entre las principales fuentes de emisión de CO₂ de la categoría; sin embargo, en ese lapso el incremento en el uso de piedra caliza y dolomita en el país hizo que aumentaran su contribución a las emisiones de CO₂, pasando de 7.1% en 1990 a 29.5% en 2010.

Por su parte, la producción de amoníaco, que en 1990 contribuía con 14.0% de las emisiones de CO₂, redujo paulatinamente su participación en el total emitido por la categoría hasta llegar a 3.2% en 2010. Esto se debió a que entre 1990 y 2010 PEMEX redujo 65.8% su producción de amoníaco.

Las emisiones de CH₄, en CO₂ eq., representan el 0.1% de las emisiones de GEI en esta categoría para el año 2010, y son generadas casi en su totalidad durante la elaboración de ciertos productos petroquímicos

(etileno, negro de humo, estireno, metanol, y dicloroetileno). Las emisiones de esta categoría disminuyeron 15.8%, al pasar de 4.0 Gg de CH₄ (83.1 Gg de CO₂ eq.) en 1990 a 3.3 Gg de CH₄ (70.0 Gg de CO₂ eq.) en 2010, principalmente por la reducción en la producción de algunas sustancias petroquímicas. En el periodo 1990-2010 las emisiones de metano generadas en la categoría de Procesos Industriales se redujeron a una TCMA negativa de 0.9% (Figura IV.21).

Las emisiones de N₂O, en CO₂ eq., representaron en 2010 el 0.2% de las emisiones de GEI en esta categoría. Son generadas exclusivamente por la industria química en la producción de ácido nítrico. Durante el periodo 1990-2010, estas emisiones se redujeron 76.2%, de 1.8 Gg de N₂O (548.7 Gg de CO₂ eq.) en 1990 a 0.4 Gg de N₂O (130.4 Gg de CO₂ eq.), equivalente a una disminución media anual del 6.9% (Figura IV.21).

Las emisiones procedentes de la producción y consumo de HFC están asociadas a su uso y se incrementaron en 2,307%: de 776.5 Gg de CO₂ eq. en 1990 a 18,692.3 Gg de CO₂ eq. en 2010 (Figura IV.22), lo que equivale a una TCMA de 17.2%. En 2010 las emisiones de HFC contribuyeron con 30.5% a las emisiones de CO₂ eq. en esta categoría. El mayor consumo correspondió al HFC-134a, que es empleado principalmente como refrigerante, y al HFC-23, que se genera como subproducto en la elaboración del HCFC-22. También se incrementaron de manera significativa el consumo de HFC-125 y el de HFC-143a, que se utilizan en sistemas de protección contra incendio y en equipos de refrigeración comercial respectivamente. En los últimos tres años del periodo hubo un consumo creciente de HFC-32, que se emplea como refrigerante en aires acondicionados estacionarios y cámaras de refrigeración, y de HFC-152a, que se emplea en la fabricación de espumas de poliuretano.

■ Figura IV.21. Fuentes de emisión (Gg de CO₂ eq.) en la categoría Procesos Industriales

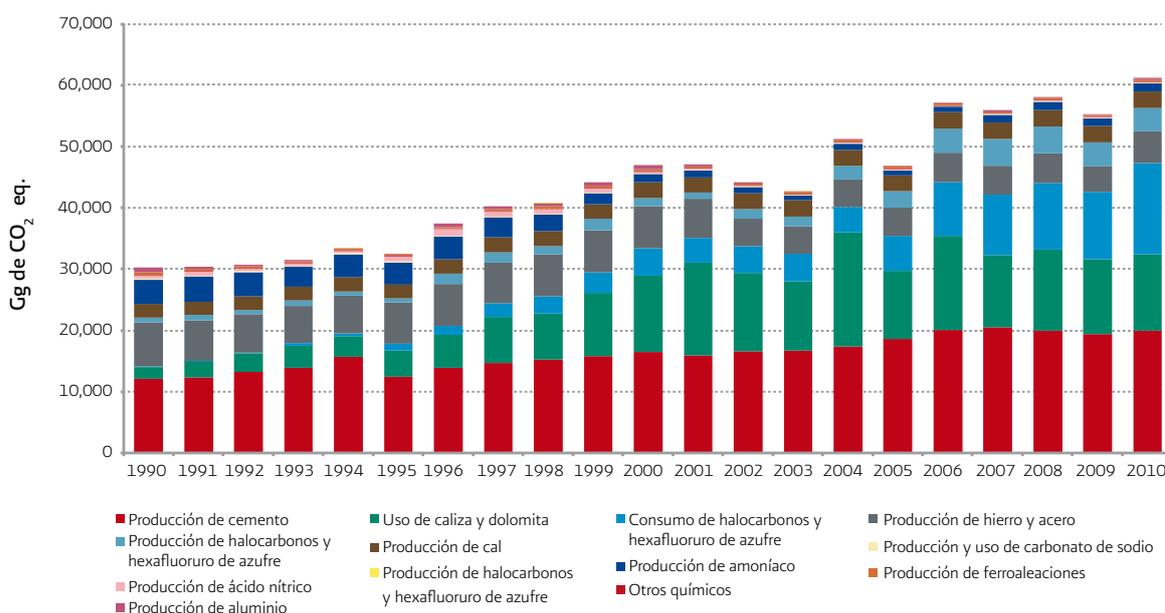
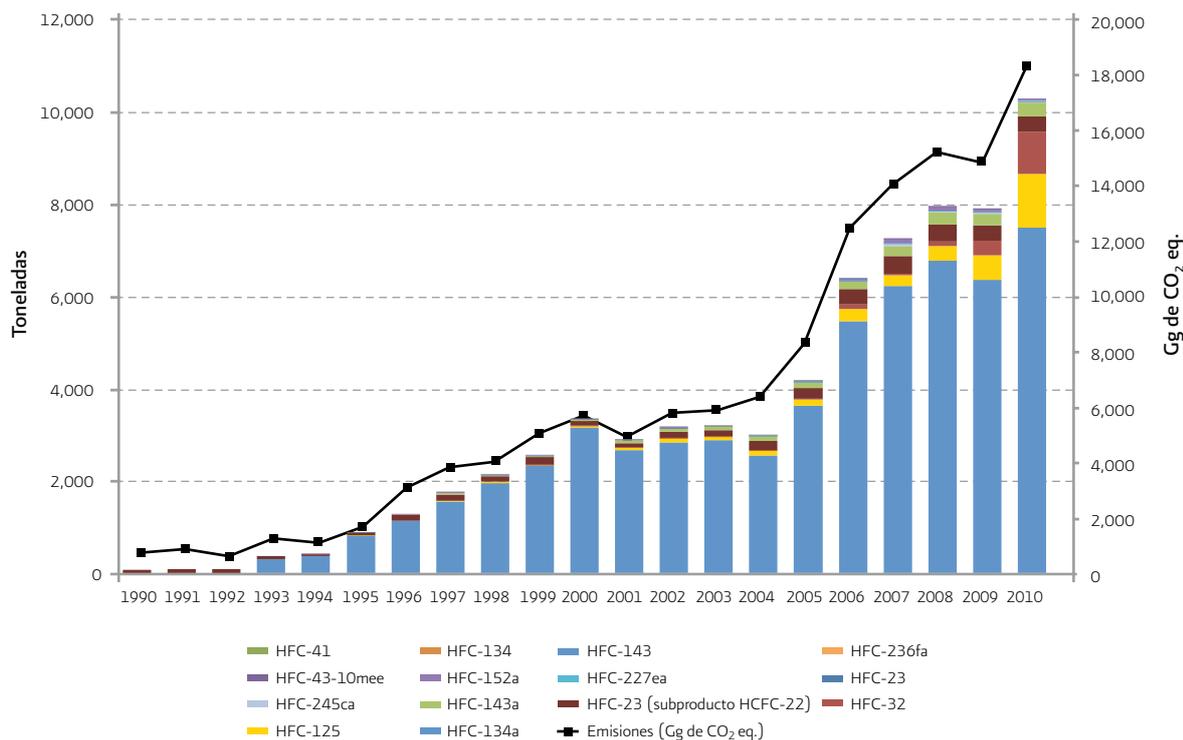


Figura IV.22. Emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) en CO₂ eq.



Las emisiones de PFC son generadas exclusivamente en la producción de aluminio primario. En 2010 representaron el 0.2% (128.4 Gg de CO₂ eq.) de la categoría. En 1990 las emisiones de PFC fueron de 0.091 Gg de CF₄ (592.8 Gg de CO₂ eq.) y 0.006 Gg de C₂F₆ (53.9 Gg de CO₂ eq.). En 2010 las emisiones fueron de 0.017 Gg de CF₄ (111.9 Gg de CO₂ eq.) y 0.002 Gg de C₂F₆ (16.6 Gg de CO₂ eq.).

Las emisiones de SF₆ contribuyen con alrededor de 0.2% a las emisiones de GEI en esta categoría en 2010, y corresponden exclusivamente a las emisiones potenciales de este gas de equipos eléctricos del sistema de distribución eléctrica de CFE. Las emisiones se incrementaron 246.7%, de 0.001 Gg de SF₆ (29.6 Gg de CO₂ eq.) en 1990 a 0.005 Gg de SF₆ (124.4 Gg de CO₂ eq.) en 2010; la TCMA en el periodo fue de 7.4%.

IV.6.3 Agricultura

La categoría de Agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas (aplicación de fertilizantes nitrogenados, cultivos de arroz, y quema de residuos agrícolas) y pecuarias (fermentación entérica y manejo del estiércol). Sus principales emisiones son CH₄, proveniente de la fermentación entérica y manejo de estiércol, y N₂O, proveniente de suelos agrícolas.

La superficie cosechada de arroz, la producción de caña de azúcar y de cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, así como el número de cabezas de ganado, se obtuvieron del SIACON 1990-2010, de la SAGARPA, y del INEGI 2008. El consumo de fertilizantes nitrogenados del mismo periodo se obtuvo de la página Web de la FAO, llamada "FAOSTAT", en tres periodos distintos.

Debido a la carencia de información en cuanto al número de caballos, mulas y asnos en la base del SIACON, se tomó la referencia del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 1991 y 2007 del INEGI. Con dichas cifras se realizó una extrapolación de datos, mediante una regresión lineal, para obtener los valores intermedios en el periodo 1990-2010.

La subcategoría que más contribuyó a las emisiones en CO₂ eq. fue la de los suelos agrícolas, que pasó de 46,204.3 Gg en 1990 a 46,479.8 Gg en 2010. Le sigue

en importancia la fermentación entérica, la cual pasó de 38,802.61 Gg en 1990 a 37,961.5 Gg en 2010. Las emisiones totales para 1990 fueron de 92,785.9 Gg de CO₂ eq., con una contribución del ganado de 49.8% y de los cultivos de 50.2%. Para 2010, disminuyeron 0.7%, con un total de 92,184.5 Gg de CO₂ eq.; el ganado contribuyó con 49.4% y cultivos con 50.6%. Por tipo de gas, el N₂O representó en 2010 el 57.4% y el CH₄ el 42.6% (Cuadro IV.10).

■ Cuadro IV.10. Emisiones de GEI de la categoría de Agricultura por fuente (Gg de CO₂ eq.)

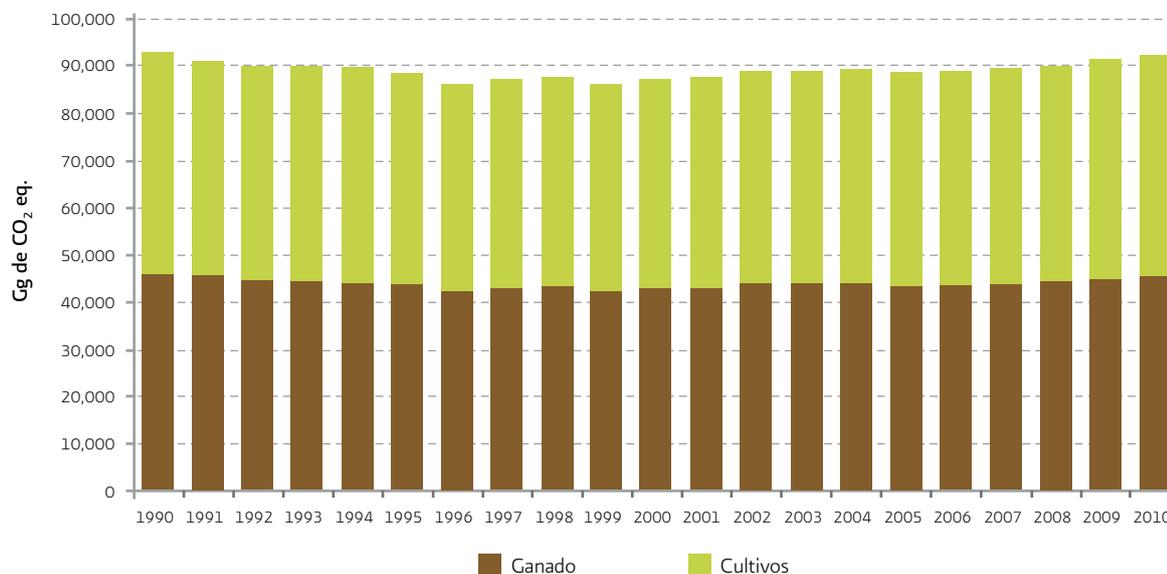
Año	Subsector ganado		Subsector cultivos			Emisiones totales Agricultura
	Fermentación entérica de ganado doméstico	Manejo del estiércol	Quema de residuos agrícolas	Suelos agrícolas	Cultivo de arroz	
	Gg de CO ₂ eq.					
1990	38,802.6	7,428.1	40.8	46,204.3	310.1	92,785.9
1991	38,554.0	7,261.9	39.2	44,932.2	254.2	91,041.5
1992	37,869.0	7,140.0	42.5	44,431.0	294.7	89,777.2
1993	37,346.8	7,367.4	43.8	45,260.8	166.3	90,185.1
1994	37,068.5	7,331.9	41.4	45,102.6	247.6	89,792.0
1995	36,593.1	7,251.5	45.3	44,120.0	237.3	88,247.2
1996	35,457.6	7,033.1	45.4	43,488.8	242.4	86,267.3
1997	35,856.9	7,159.1	45.6	43,562.7	322.5	86,946.8
1998	36,145.4	7,118.8	48.6	43,954.7	267.2	87,534.7
1999	35,297.1	7,040.9	46.4	43,558.6	218.0	86,161.0
2000	35,810.1	7,125.2	43.6	43,855.9	224.8	87,059.6
2001	35,938.6	7,145.1	47.1	44,416.8	136.8	87,684.4
2002	36,784.0	7,263.5	47.1	44,640.2	131.1	88,865.9
2003	36,798.7	7,225.4	49.0	44,822.8	160.1	89,056.0
2004	36,616.2	7,267.8	50.1	45,142.9	167.1	89,244.1
2005	36,274.6	7,244.2	53.2	45,003.5	170.1	88,745.6
2006	36,431.3	7,280.8	51.6	45,048.4	187.8	88,999.9
2007	36,725.7	7,332.8	53.6	45,339.2	184.0	89,635.3
2008	37,111.5	7,391.5	52.6	45,301.2	134.5	89,991.3
2009	37,635.2	7,479.3	50.2	46,182.2	156.9	91,503.8
2010	37,961.5	7,553.5	52.0	46,479.8	137.8	92,184.6

La Figura IV.23 muestra que las emisiones provenientes del ganado y de los cultivos disminuyen de 1990 a 1999, y a partir de 2000 tienden a aumentar. Esta variación se debe al comportamiento de la población de ganado bovino y de los suelos agrícolas, cuya contribución predomina en estas dos subcategorías.

provenientes de la quema en campo de residuos agrícolas aumentaron 27.5%, mientras que las provenientes de los cultivos de arroz disminuyeron 55.6%.

Cabe mencionar que las emisiones del sector agrícola cambian considerablemente con respecto a las reportadas en el cuarto INEGEI 1990-2006, ya que prácticamente se duplican. Esto se explica por un cambio en

■ Figura IV.23. Emisiones totales en CO₂ eq. en la categoría de Agricultura

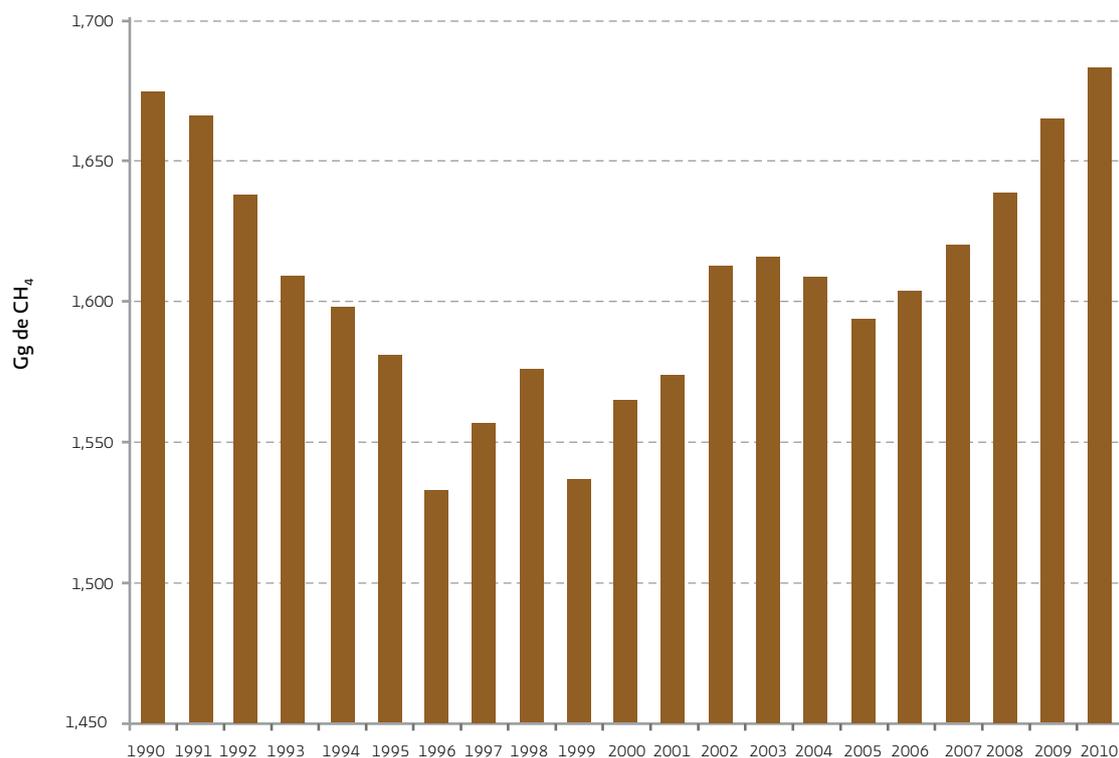


Para el caso de ganadería, la variación en las emisiones a lo largo del periodo de análisis está determinada por la dinámica del número de cabezas (Figura IV.24): el ganado de carne disminuye 5.57% en el periodo, mientras que las aves aumentan 162.52%. Asimismo, se aprecia una reducción en cabezas de equinos (63.99%), mulas y asnos (78.04%) y cabras (13.85%); y un incremento de ganado lechero (59.71%), ovinos (38.65%) y porcinos (1.53%).

Para el caso de cultivos, la principal emisión proviene de suelos agrícolas, que representa 99.6% del total en 2010, con un incremento de 0.6% con respecto a 1990. De 1990 a 1996 las emisiones de suelos agrícolas disminuyen 5.9%, pero de 1999 a 2010 se incrementan 5.7%. Para el periodo de análisis, las emisiones

las hojas de cálculo de la metodología del PICC (1996 revisada), en el apartado de emisiones de N₂O por manejo del estiércol en los diferentes sistemas usados en México. La metodología en su versión en inglés (usada normalmente) solicita que se incorpore la población de ganado en miles de unidades, mientras que la versión en español la requiere en unidades, siendo esta última la manera correcta. Este cambio también afecta al cálculo de las emisiones de N₂O procedentes del manejo de suelos agrícolas, ya que el total del nitrógeno excretado forma parte de estos cálculos. Comparando ambos inventarios, para el año 2006 y con el recálculo, las emisiones provenientes del manejo de excretas pasaron de 1,175 a 7,280 Gg de CO₂ eq., mientras que las emisiones de suelos agrícolas pasaron de 6,969 a 45,048 Gg de

■ Figura IV.24. Emisiones provenientes del ganado bovino (Gg de CH₄)



CO₂ eq., lo que significó en ambos casos un incremento de más de 500%.

IV.6.4 Uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura

Para la elaboración del presente inventario no se contaba aún con el segundo ciclo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, el cual culmina en el año 2013, ni con la Serie V de Vegetación y Uso del Suelo del INEGI, por lo que las estimaciones están basadas en los mismos conjuntos de datos utilizados en el inventario de GEI presentado en la Cuarta Comunicación Nacional.

Este inventario presenta nuevas estimaciones para las emisiones generadas por el sector, con relación al inventario de la Cuarta Comunicación Nacional. Tales estimaciones han resultado en una disminución de las emi-

siones netas estimadas de 69,778 Gg de CO₂ a 59,622 Gg de CO₂ para el año 2006, el cual corresponde al último año con información disponible para el cálculo de emisiones.

En relación con las predicciones estimadas para el periodo 2008–2010, y a modo indicativo únicamente, se realizó un ejercicio de extrapolación lineal; sin ignorar que este procedimiento no es recomendado por el PICC/GBP USCUS cuando la tendencia histórica es cambiante, tal y como sucede en el caso de la serie histórica de emisiones netas de 1990 a 2007. Por lo tanto, es importante enfatizar que México está considerando otros enfoques metodológicos para definir los niveles de referencia para el mecanismo REDD+.

Se proporcionan los resultados de las estimaciones relativas a las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero derivadas de los cambios de biomasa en bosques y otros reservorios, la conversión de bosques y

pastizales a uso agrícola, y el abandono de tierras de cultivo, en las que se presenta la revegetación, y cambio del contenido de carbono en suelos minerales. Las estimaciones se elaboraron conforme a las Directrices del PICC para los inventarios nacionales de emisiones de GEI, versión revisada en 1996 (PICC, 1997).

Se reportan las emisiones de CO₂ provenientes de los cambios de biomasa por el aprovechamiento de los bosques, plantaciones, aprovechamientos comerciales autorizados, la colecta de leña para usarse como combustible y otras prácticas de gestión en el aprovechamiento forestal; las emisiones generadas por el cambio en la cobertura vegetal hacia un uso del suelo agropecuario, donde se incluye la fracción de biomasa quemada en sitio y la absorción que se da cuando las tierras de cultivo se abandonan y ocurre la revegetación. Además del CO₂, se incluyen las emisiones de CO, CH₄, N₂O y NO_x, originados por la quema de biomasa en la conversión de bosques y pastizales.

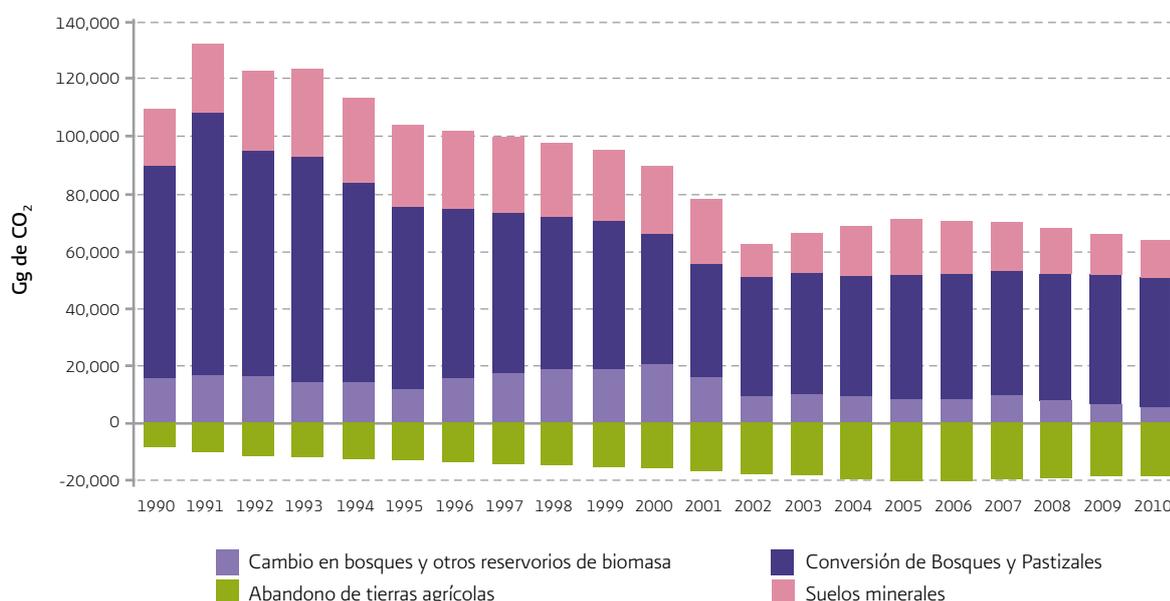
La metodología del PICC sugiere el uso de valores por defecto cuando no se tiene información propia y no está desagregada, se considera como Nivel 1, y donde la metodología del procesamiento de la información deta-

llada lo permite, se estima con Nivel 2, siguiendo en cada paso el árbol de decisión.

Las emisiones totales del sector USCUSS fueron en promedio de 73,872 Gg de CO₂, con un valor máximo de 122,372 Gg de CO₂ en 1991 y un mínimo de 45,369 Gg de CO₂ en 2002. En general, para el periodo 1990-2010, se aprecia una disminución de las emisiones de 55%, al pasar de 101,257 a 45,670 Gg de CO₂ (Figura IV.25). Las subcategorías que más emitieron fueron la conversión de bosques y otras coberturas vegetales a usos de suelo agrícola, seguidas por el cambio de carbono en suelos minerales, aparejado con los cambios en la biomasa de bosques y otros reservorios. Cabe destacar que el proceso de abandono paulatino de tierras agrícolas es un sumidero importante en el balance neto.

Los cambios de biomasa en bosques y otros reservorios, presentan una disminución del 64% en sus emisiones, de 16,159 Gg de CO₂ en 1990 a 5,861 Gg de CO₂ en 2010. En esta estimación no se incluyen los aprovechamientos no autorizados (tala ilegal), a falta de información oficial. Se aprecia un consumo diferencial de leña, que aumenta gradualmente de 19,889 kt/año en 1990 a

■ Figura IV.25. Emisiones de la categoría USCUSS (Gg de CO₂)



20,537 kt/año en 2000, y desciende de 19,256 kt/año en 2001 a 18,618 kt/año en 2010, posiblemente influido por el cambio metodológico en el registro y cálculo de esta variable.¹³

La conversión de bosques y otras coberturas vegetales a otros usos como el agrícola presenta una disminución del 39% en sus emisiones, de 73,720 Gg de CO₂ en 1990 a 45,325 Gg de CO₂ en el 2010, lo que se explica por la progresiva reducción de la superficie de conversión: de la Serie I de Vegetación y uso del suelo del INEGI a la Serie II, que abarca un periodo de nueve años (de 1985 a 1993), se convierten un total de 18 Mha; de la Serie II a la Serie III, que contempla un periodo de nueve años, se convirtieron 2.5 Mha, y de la Serie III a la Serie IV, que comprende cinco años, la conversión fue de 3.2 Mha. Las coberturas vegetales más afectadas son: pastizales, matorrales, bosque mesófilo, selva baja, mediana y alta.

El abandono de tierras cultivadas en las que se presenta la revegetación da lugar a la remoción o absorción (valores negativos) de emisiones; en 1990 la remoción estimada fue de 8,070 Gg de CO₂; y se incrementa de forma gradual hasta alcanzar 15,256 Gg de CO₂ en 2010, esto es, un incremento de 124%, que contribuye positivamente a la reducción de emisiones de la presente categoría.

El cambio de carbono en suelos minerales, que oscila a lo largo del tiempo, genera emisiones ascendentes de 19,449 a 29,914 Gg de CO₂ en 1990 y 1993, respectivamente; de 1994 al 2002 se registra un descenso en las emisiones, de 28,838 a 11,164 Gg de CO₂; del 2003 al 2005 se incrementan de 13,774 a 18,993 Gg de CO₂, y del 2006 al 2010 se reducen de 17,713 a 12,593 Gg de CO₂, posiblemente como consecuencia de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal hacia uso agrícola, que se acentúa en el año de referencia de cada serie de INEGI en las superficies analizadas (Serie I vs Serie II, Serie II vs Serie III y Serie III vs Serie IV).

La metodología del PICC de 1996 sugiere que para estimar los cambios en la revegetación de áreas abandonadas, cambios en las existencias de carbono que siguen a un proceso de cambio en el uso del suelo y cambios en

los contenidos de carbono en suelos, se debe contar con un periodo de información continua de 20 años.

Debido a que solo se cuenta con información desde 1985, éste se tomó como año de referencia a partir del cual se realizaron las estimaciones para ajustar los valores anuales de 1990 al 2004; a partir del año 2005, se cuenta con la serie completa de 20 años y con ello se calculan las variables hasta el 2010.

En términos de CO₂ eq. las emisiones disminuyeron 54.2%, de 102,280 Gg en 1990 a 46,891.4 en 2010, con una TCMA negativa de 3.9%.

Esfuerzos de mejora en proceso

El desarrollo de las actividades del proyecto de Fortalecimiento de la preparación REDD+ en México y fomento de la cooperación Sur-Sur, liderado por la Comisión Nacional Forestal, con financiamiento del gobierno de Noruega y la colaboración del PNUD y la FAO, que se enfocan en el establecimiento de un sistema de MRV para los bosques en el marco de la implementación del mecanismo REDD+, está orientado a fortalecer también las estimaciones del inventario nacional de GEI. En este sentido, se planea que para la próxima comunicación nacional se implementen las siguientes mejoras:

- En la consistencia de la serie de tiempo de los datos de actividad (DA) de las superficies de tierras forestales que permanecen como tierras forestales así como de tierras forestales que se convierten en otras tierras y otras clases de cambio de uso.
- En los cálculos de incertidumbre de las series de tiempo de los DA mencionados.
- Implementación de mejores procedimientos de QA/QC en las estimaciones de los DA.
- En los factores de emisión (FE) para las estimaciones de contenidos de C en la biomasa aérea de los bosques.
- En los análisis de incertidumbre de las estimaciones de cambios de contenidos de biomasa.
- En la inclusión de otros almacenes de carbono.

Por las consideraciones antes planteadas, estos esfuerzos aún no tienen resultados que hayan sido incorporados en este inventario, lo que enfatiza el carácter preliminar de los datos aquí presentados.

¹³ Se utilizó el poder calorífico de 14,486 MJ/t.

IV.6.5 Desechos

Las emisiones de la categoría Desechos fueron calculadas con la metodología de las Directrices del PICC 2006, la cual considera nuevas subcategorías, que son: eliminación de desechos sólidos (4A), tratamiento biológico de los desechos sólidos (4B), incineración e incineración a cielo abierto de desechos (4C), y tratamiento y eliminación de aguas residuales (4D).

Se recalculó toda la serie 1990-2010 utilizando la nueva metodología; las emisiones presentaron una reducción con respecto a la estimación informada en la anterior Comunicación Nacional.

La estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de los Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS), se basa en el método de descomposición de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés). En este inventario se empleó el Nivel 2 del modelo FOD, el cual requiere de la información relativa a la cantidad y tipo de desechos sólidos eliminados en: sitios gestionados anaerobios y semiaerobios, sitios no gestionados someros y profundos, y sitios no categorizados.

En la subcategoría de eliminación de desechos sólidos, se estiman las emisiones de CH₄, que son producto

de la descomposición anaeróbica de materia orgánica contenida en los residuos. En la subcategoría de tratamiento biológico de los desechos sólidos, se estiman las emisiones de CH₄ y N₂O. En la subcategoría incineración e incineración a cielo abierto de desechos, se estima CH₄, N₂O y CO₂, gases generados por la incineración de desechos sólidos y desechos líquidos fósiles. Finalmente, para la subcategoría de tratamiento y eliminación de aguas residuales, se estiman las emisiones de CH₄ y N₂O; en algunos procesos de tratamiento de agua se produce CH₄ por la degradación de los compuestos orgánicos en condiciones anaeróbicas, y N₂O, por las bacterias presentes, que consumen el nitrógeno generando N₂O.

Las emisiones de GEI en unidades de CO₂ eq. de esta categoría aumentaron 167.0%, al pasar de 16,529.1 Gg en 1990 a 44,130.8 Gg en 2010 (Cuadro IV.11). Este aumento es resultado principalmente del crecimiento de la población, de la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios tecnificados y del impulso dado en las últimas décadas al tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales.

La principal emisión en 2010 de la categoría de Desechos, en CO₂ eq., corresponde al CH₄, que representa

■ Cuadro IV.11. Emisiones de GEI (Gg de CO₂ eq.) generadas por la categoría Desechos, por gas

Año	Gas			Total
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	
	Gg de CO ₂ eq.			
1990	14,866.9	184.9	1,477.3	16,529.1
1991	14,799.3	124.2	1,529.9	16,453.4
1992	15,029.8	153.7	1,598.2	16,781.7
1993	19,728.3	201.3	1,675.9	21,605.5
1994	20,058.1	202.9	1,721.9	21,982.8
1995	20,317.3	213.4	1,752.5	22,283.2
1996	20,992.8	216.2	1,775.9	22,984.9
1997	21,102.3	196.7	1,814.3	23,113.3
1998	21,521.3	205.3	1,856.3	23,582.9
1999	23,333.0	201.5	1,905.6	25,440.1
2000	24,785.1	206.8	1,979.2	26,971.0

Año	Gas			Total
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	
	Gg de CO ₂ eq.			
2001	25,900.2	211.5	2,035.0	28,146.7
2002	27,921.4	223.8	2,063.3	30,208.5
2003	29,223.3	307.4	2,071.3	31,602.0
2004	30,863.7	306.4	2,092.2	33,262.2
2005	31,892.5	311.0	2,110.6	34,314.1
2006	34,581.9	314.3	2,165.8	37,062.0
2007	35,888.8	326.8	2,208.5	38,424.1
2008	37,663.1	551.3	2,223.4	40,437.8
2009	39,275.8	559.9	2,230.8	42,066.4
2010	41,323.4	569.4	2,238.1	44,130.8

el 93.6% (41,323.4 Gg), seguido del N₂O con 5.1% (2,238.1 Gg) y del CO₂ con 1.3% (569.4 Gg).

Las emisiones de CH₄ en el periodo 1990-2010 tuvieron un crecimiento de 178.0%, al pasar de 707.9 Gg en 1990 a 1,967.8 Gg en 2010 (14,866.9 Gg de CO₂ eq. y 41,323.4 Gg de CO₂ eq.). En el caso de la eliminación de desechos sólidos, el incremento fue de 232.4%, pasando de 316.8 Gg en 1990 a 1,053.2 Gg para 2010 (6,653.6 y 22,117.7 Gg de CO₂ eq.), con una TCMA de 6.2%. El incremento en el periodo para aguas residuales municipales fue de 126.6%, con emisiones de 188.0 Gg en 1990 y de 426.0 Gg en 2010 (3,948.2 Gg y 8,946.5 Gg de CO₂ eq.), con una TCMA de 4.2%. Por

último, para aguas residuales industriales el incremento fue de 149.7%, ya que en 1990 se tuvieron 181.3 Gg y en 2010, 452.7 Gg (3,808.1 y 9,507.6 Gg de CO₂ eq.), lo que representó una TCMA de 4.7%.

En términos de contribución a las emisiones de CH₄, los desechos sólidos aumentaron de 44.8% en 1990 a 53.5% en 2010, mientras que las aguas residuales disminuyeron de 52.2% a 44.7% del total. Las subcategorías restantes: tratamiento biológico de desechos sólidos, incineración e incineración a cielo abierto disminuyeron su participación de 3.0% a 1.8% de 1990 a 2010. El Cuadro IV.12 muestra las emisiones de CH₄ en CO₂ eq. para el periodo 1990-2010.

■ Cuadro IV.12. Emisiones de CH₄ (Gg de CO₂ eq.) por las subcategorías 4A, 4B, 4C y 4D de Desechos

Año	Tratamiento biológico	Incineración	Incineración a cielo abierto	Aguas residuales municipales	Aguas residuales industriales	Eliminación de desechos sólidos	Total
Gg de CO ₂ eq.							
1990	201.9	NE	255.0	3,948.2	3,808.1	6,653.6	14,866.9
1991	203.2	NE	261.0	4,040.1	3,867.0	6,428.0	14,799.3
1992	204.6	NE	322.9	4,338.5	3,915.0	6,248.9	15,029.8
1993	210.7	NE	422.9	4,439.5	8,368.6	6,286.7	19,728.3
1994	212.5	NE	426.1	4,613.8	8,424.5	6,381.2	20,058.1
1995	213.9	NE	448.3	4,721.2	8,456.0	6,478.0	20,317.3
1996	214.7	0.3	453.1	5,169.9	8,487.5	6,667.3	20,992.8
1997	215.0	1.0	409.6	5,239.8	7,989.1	7,247.8	21,102.3
1998	218.5	2.5	422.2	5,349.6	7,622.8	7,905.7	21,521.3
1999	219.6	2.0	415.7	5,421.8	7,867.0	9,406.9	23,333.0
2000	220.4	2.0	426.8	5,493.7	7,983.8	10,658.3	24,785.1
2001	220.3	2.2	436.3	5,557.4	7,949.3	11,734.7	25,900.2
2002	227.4	9.8	434.1	6,120.7	8,214.0	12,915.4	27,921.4
2003	229.1	11.3	442.8	6,191.6	8,365.1	13,983.3	29,223.3
2004	227.7	11.2	443.1	6,663.2	8,362.4	15,156.1	30,863.7
2005	228.4	9.7	453.8	6,740.4	8,207.1	16,253.1	31,892.5
2006	230.5	9.7	458.5	7,864.4	8,737.9	17,280.9	34,581.9
2007	232.6	9.7	483.8	7,998.0	8,861.2	18,303.5	35,888.8
2008	235.2	9.7	475.7	8,309.5	9,097.6	19,535.4	37,663.1
2009	245.4	9.7	483.3	8,450.7	9,235.4	20,851.3	39,275.8
2010	249.7	9.7	492.1	8,946.5	9,507.6	22,117.7	41,323.4

NE se refiere a que "no fue estimada", ya que no hay información para esos años.

Las emisiones de N₂O derivadas de las aguas residuales municipales, del tratamiento biológico de residuos y de la incineración a cielo abierto, aumentaron 51.5%, al pasar de 4.8 Gg de N₂O en 1990 a 7.2 Gg de N₂O en 2010 (1,477.3 y 2,238.1 Gg de CO₂ eq), con una TCMA de 2.1%.

En el país la incineración a cielo abierto se da principalmente en zonas rurales. Una práctica reciente es la incineración de desechos sólidos en hornos de las plantas de cemento para la generación de energía. En el caso de los residuos peligrosos y hospitalarios, éstos son incinerados en hornos regulados por la SEMARNAT, pero su

contribución en materia de GEI es marginal, equivalente al 3.0% en el caso de CO₂, y 0.05% en el caso de N₂O, para 2010. De esta manera, la contribución de emisiones de GEI en este subsector proviene principalmente de la incineración a cielo abierto: en el caso del CH₄ equivale a 1.7% en el año 1990 con tendencia a la baja hasta un 1.2% en 2010. En lo que se refiere a CO₂, la incineración a cielo abierto representó el 100% de las emisiones en el periodo 1990-1994, y 97.0% en 2010, debido a que entran en operación las plantas de incineración de residuos peligrosos y hospitalarios en el año 1995 (Cuadro IV.13).

■ Cuadro IV.13. Emisiones de N₂O y CO₂ (Gg de CO₂ eq.) por las subcategorías 4B, 4C y 4D de Desechos, 1990-2010

Año	Tratamiento biológico de desechos	Incineración	Incineración a cielo abierto	Aguas residuales	Incineración	Incineración a cielo abierto
	N ₂ O				CO ₂	
	Gg de CO ₂ eq.					
1990	127.1	NE	86.9	1,263.4	NE	184.9
1991	127.1	NE	88.9	1,313.9	NE	124.2
1992	127.1	NE	110.0	1,361.2	NE	153.7
1993	127.1	NE	144.0	1,404.8	NE	201.3
1994	127.1	NE	145.2	1,449.7	NE	202.9
1995	127.1	NE	152.7	1,472.7	NE	213.4
1996	127.1	0.0	154.3	1,494.4	0.5	215.7
1997	127.1	0.1	139.5	1,547.6	1.7	195.0
1998	127.1	0.3	143.8	1,585.2	4.3	201.0
1999	127.1	0.2	141.6	1,636.7	3.6	197.9
2000	127.1	0.2	145.4	1,706.5	3.6	203.2
2001	127.1	0.2	148.6	1,759.0	3.8	207.7
2002	127.1	1.1	147.9	1,787.2	17.2	206.7
2003	127.1	1.3	150.9	1,792.1	19.8	287.6
2004	127.1	1.3	150.9	1,812.9	19.5	286.9
2005	127.1	1.1	154.6	1,827.9	16.9	294.1
2006	127.1	1.1	156.2	1,881.5	16.9	297.3
2007	127.1	1.1	164.8	1,915.6	16.9	309.9
2008	127.1	1.1	162.0	1,933.2	16.9	534.4
2009	127.1	1.1	164.6	1,938.0	16.9	543.0
2010	127.1	1.1	167.7	1,942.3	16.9	552.4

NE se refiere a que "no fue estimada", ya que no hay información para esos años.

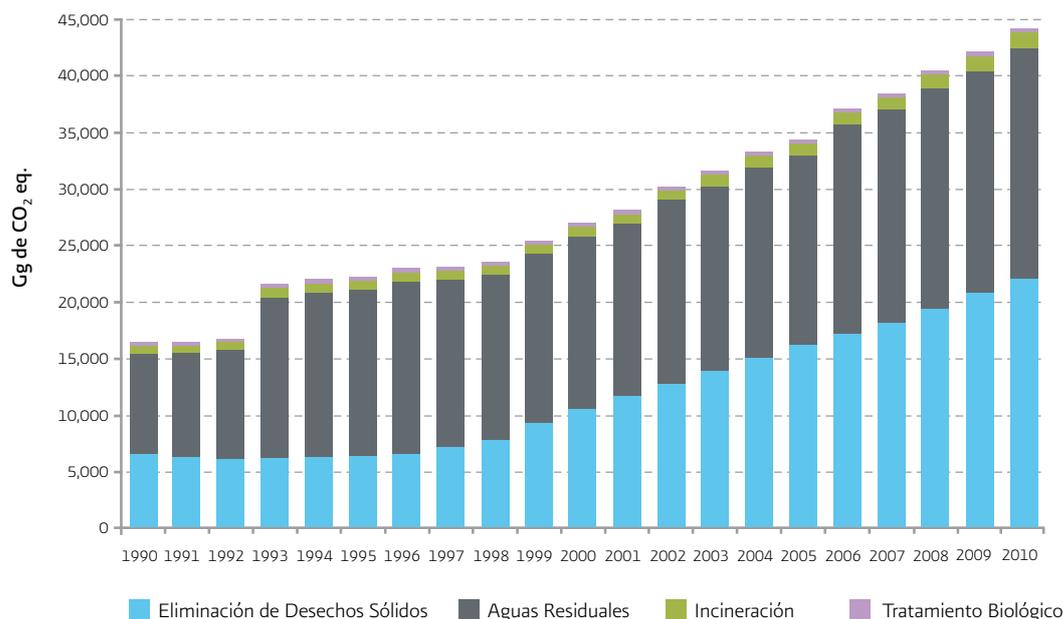
En el Cuadro IV.14 se observa la contribución de cada subcategoría a las emisiones totales en Gg de CO₂ eq. y su TCMA.

En la Figura IV.26 se puede ver el comportamiento, en Gg de CO₂ eq, de las subcategorías que conforman esta categoría. A partir de 2003 se toma en cuenta la

■ Cuadro IV.14. Emisiones de GEI en Gg de N₂O y CO₂ por las subcategorías 4B, 4C y 4D de Desechos

Subcategoría	1990	2010	1990	2010	TCMA
	Gg de CO ₂ eq.		Contribución %		%
4A Eliminación de desechos sólidos	6,653.6	22,117.7	40.3	50.1	6.2
4B Tratamiento biológico de los desechos sólidos	329.0	376.8	2.0	0.9	0.7
4C Incineración e incineración a cielo abierto	526.8	1,239.9	3.2	2.8	4.4
4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales	9,019.7	20,396.4	54.6	46.2	4.2
Total	16,529.1	44,130.8			5.0

■ Figura IV.26. Emisiones (Gg de CO₂ eq.) para las subcategorías 4A, 4B, 4C y 4D de Desechos



recuperación de metano (equivalente a 1 Gg de CH₄ anual) del relleno sanitario de Salinas Victoria, ubicado en la zona conurbada de Monterrey, Nuevo León, el cual es empleado como combustible para la operación de la primera planta de generación de electricidad de este tipo en nuestro país.

IV.7 Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 1990 a 2010

Las tendencias en las emisiones son un reflejo de las variaciones en la producción y el consumo de combustibles fósiles, así como de los cambios en las actividades de producción agrícola, pecuaria, silvícola, industrial y de servicios, y de aquellas relativas al uso del suelo en el país.

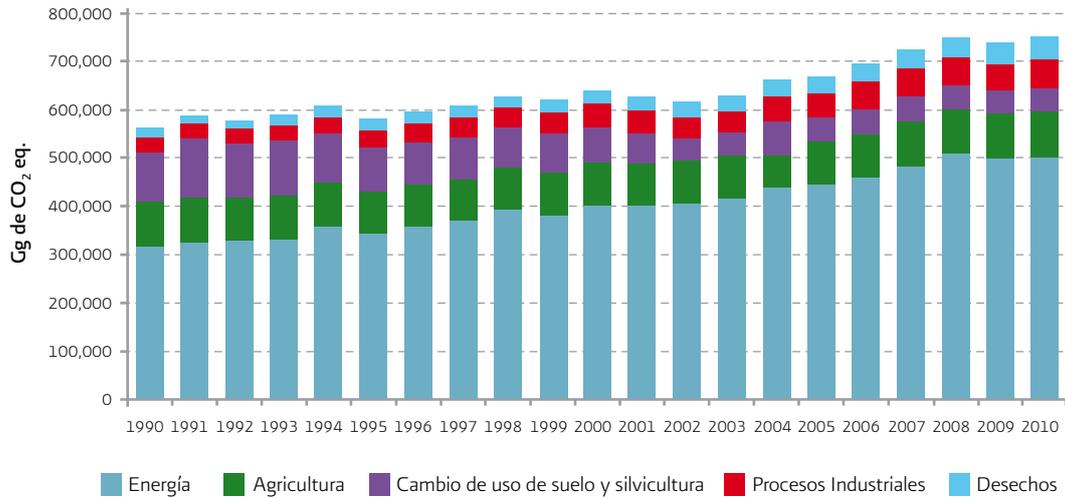
En el periodo de 1990 a 2010 el país experimentó una serie de transformaciones en términos económicos

y sociales. Entre ellos, el cambio de modelo económico hacia un adelgazamiento del Estado, lo que significó un menor control gubernamental sobre las actividades productivas y los precios.

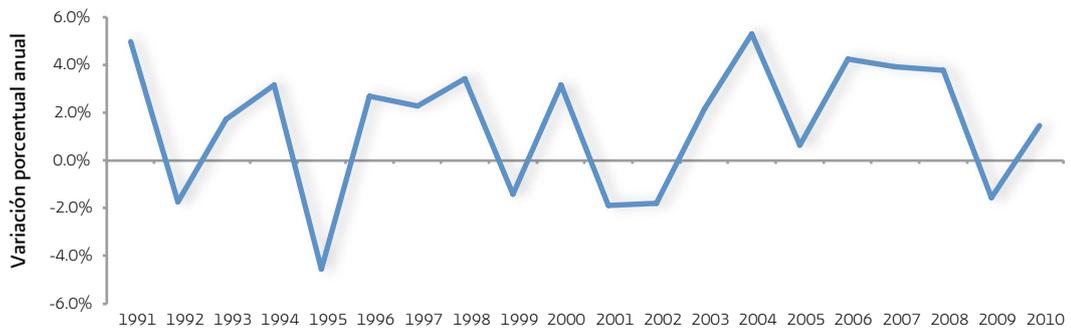
En este contexto, algunas actividades sociales y económicas que contribuyen de manera importante a las emisiones de GEI experimentaron cambios sustanciales. Las emisiones totales de GEI aumentaron durante el periodo aunque presentaron cambios o variaciones en la contribución.

Estas variaciones difícilmente pueden atribuirse a una sola causa, ya que obedecen a una diversidad de factores económicos nacionales e internacionales, como la creación de acuerdos comerciales internacionales y reformas sectoriales, que derivaron en la adopción de nuevas tecnologías, esquemas de producción, oferta y demanda de bienes y servicios dentro del país y hacia el exterior.

■ Figura IV.27. Tendencia de las emisiones de GEI



■ Figura IV.28. Variación porcentual anual de las emisiones totales de GEI



IV.8 Indicadores relevantes de las emisiones de GEI

IV.8.1 Emisiones de CO₂ per cápita

Las emisiones de CO₂ por habitante son reflejo de las opciones y condicionantes de un país para abastecer de energía a su población. En el plano internacional las comparaciones de emisiones de CO₂ per cápita muestran la divergencia que existe entre los países en este sentido. Generalmente, aquellos países con mayor nivel de ingreso y de desarrollo son los que presentan una mayor emi-

sión per cápita, aun cuando han tendido hacia la baja en el periodo 1990-2010 (AIE, 2011).¹⁴

En ese periodo, el producto interno bruto (PIB)¹⁵ del país creció en promedio 2.5% anual,¹⁶ las emisiones de GEI en la categoría de Energía aumentaron en 2.3% anual y la población nacional presentó una TCMA de

¹⁴ La Agencia Internacional de Energía presenta comparaciones internacionales de emisiones per cápita entre regiones y países.

¹⁵ PIB constante base 2003.

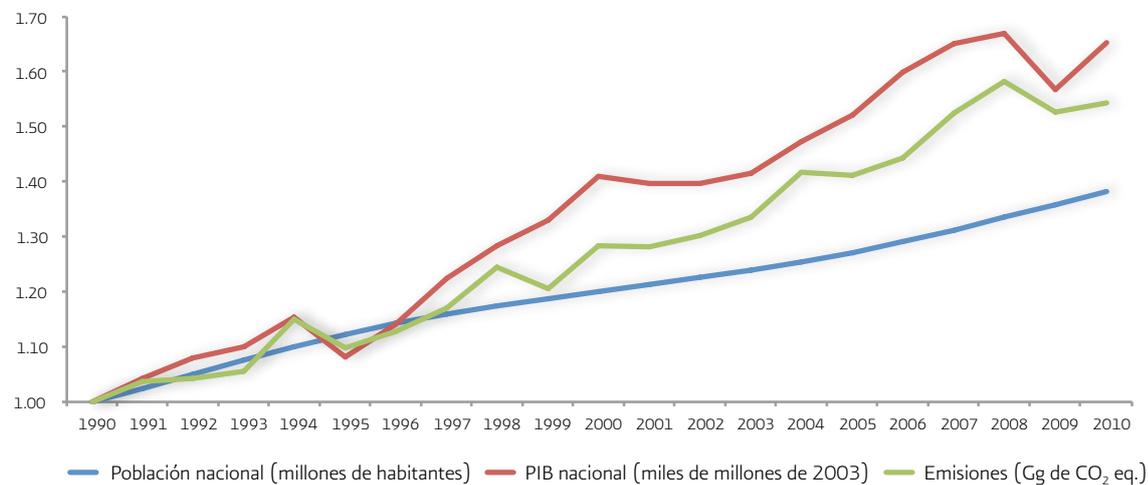
¹⁶ Tasa de crecimiento media anual del PIB: estimación propia con base en los datos de INEGI.

1.6%.¹⁷ A pesar del incremento de las emisiones por un mayor consumo de combustibles fósiles entre 1990 y 2010, estas han crecido a una tasa menor que la economía (Figura IV.29).

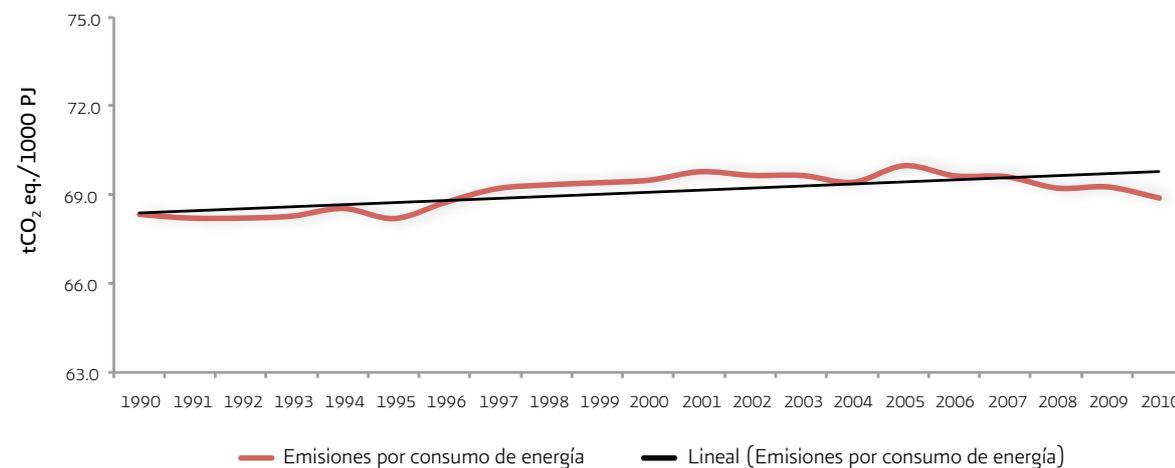
Por otro lado, el consumo de energía *per cápita* registró en 2010 un valor de 75.2 GJ, 0.1% mayor al observado en 2009. Por su parte, la TCMA del consumo *per cápita* para el periodo 1990-2010 fue de 1.1%.¹⁸

En 2010, las emisiones *per cápita* para México fueron de 6.7 tCO₂ eq., considerando el total de emisiones nacionales de GEI. Analizando la relación existente entre el consumo de energía y las emisiones generadas, en 2010, se emitieron 69.3 tCO₂ eq. por cada 1,000 petajoules consumidos, equivalente a una disminución en el periodo de 2.1% (Figura IV.30).

■ Figura IV.29. Índice de emisiones, población y PIB, México, 1990=1



■ Figura IV.30. Emisiones por consumo de energía



¹⁷ Tasa de crecimiento media anual de la población: estimación propia con base en los datos de los censos de población de INEGI.

¹⁸ Sistema de Información Energética de SENER.

Como se mencionó, el CO₂ es el principal GEI emitido por México. En 2009 las emisiones de CO₂ *per cápita*, considerando únicamente las emisiones por consumo de combustibles fósiles, fueron de 3.63 toneladas (Figura IV.31), mientras que el promedio mundial fue de 4.1 toneladas (AIE, 2011).

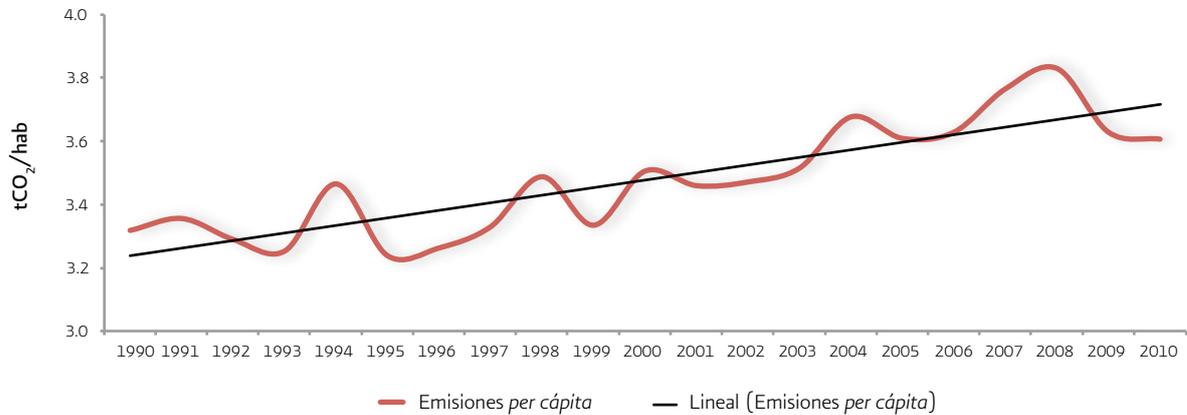
Según datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE), para el periodo 1990-2009, el crecimiento de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles fue: China, 208.9%; India, 172.3%; Indonesia, 164.7%; Corea, 124.8%; Brasil, 73.9%; Singapur, 55.7%; México, 50.4%, y Sudáfrica 45.0%; por otra parte, Rusia disminuyó 29.7%.

Las emisiones *per cápita* por consumo de combustibles fósiles estimadas por la AIE en 2009 para México fueron de 3.72 tCO₂; la estimación del inventario nacional fue de 3.63 tCO₂ *per cápita* (Figura IV.32). El valor reportado por la AIE es 2.5% mayor que el del INEGI.

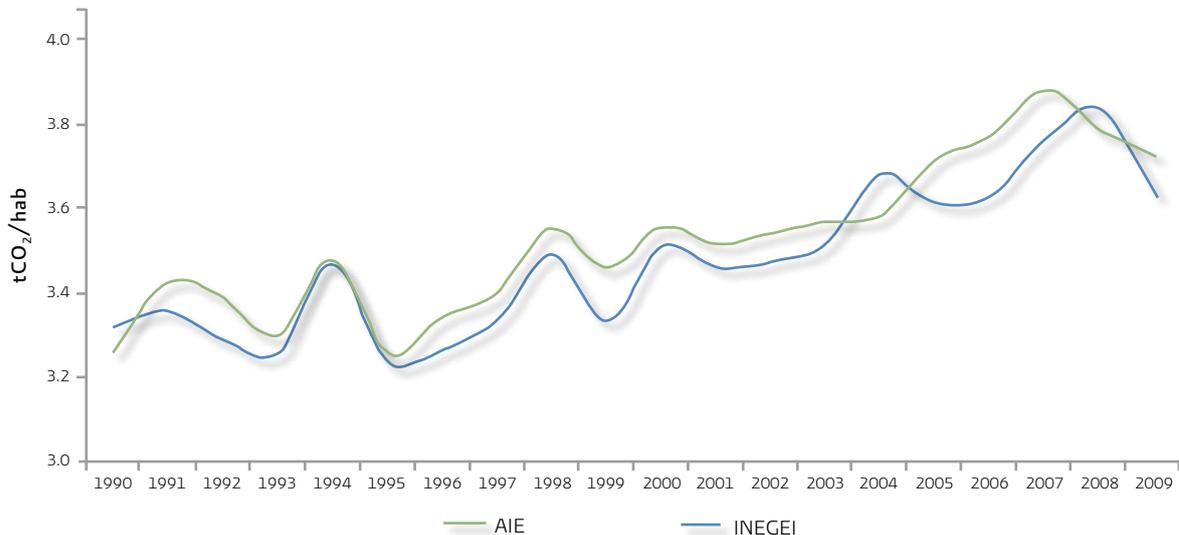
IV.8.2 Emisiones de GEI por producto interno bruto

La intensidad de las emisiones de GEI es un indicador que resulta de dividir la cantidad de emisiones de un país entre el PIB de su economía. El dato brinda una idea del posible

■ Figura IV.31. Emisiones de CO₂ *per cápita*



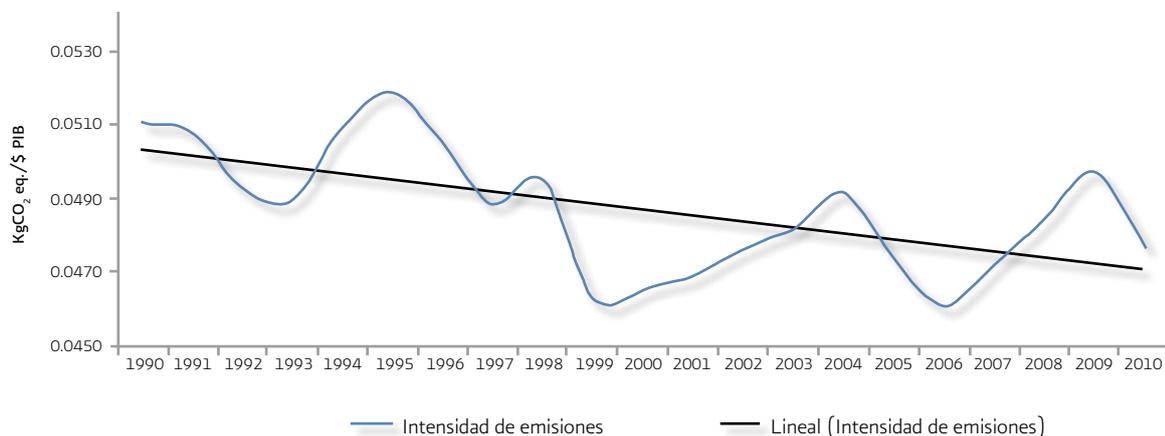
■ Figura IV.32. Comparativa de las emisiones de CO₂ *per cápita*



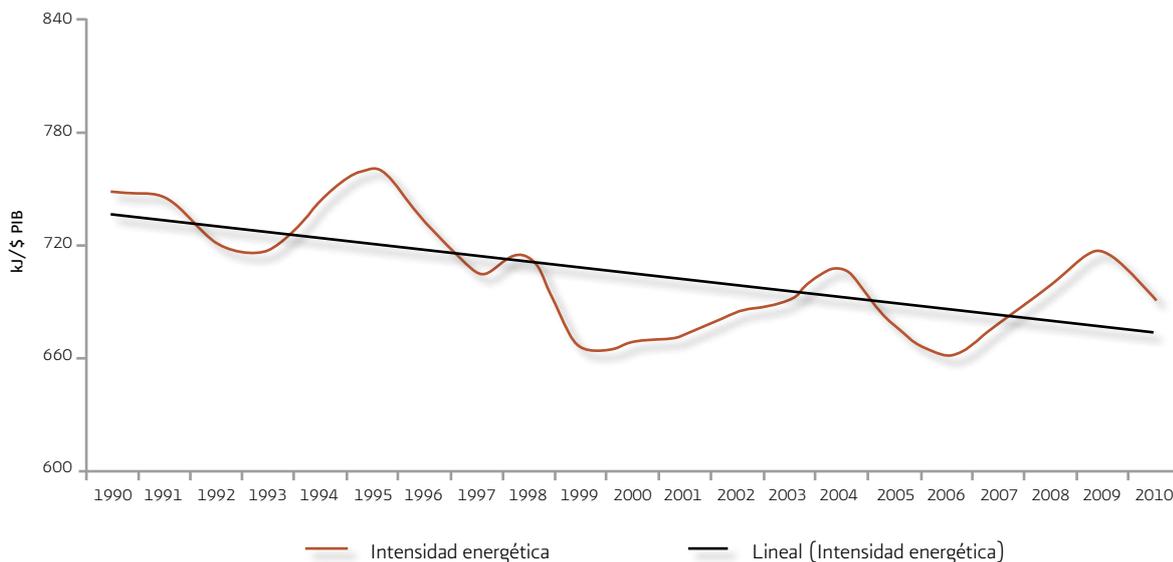
desacoplamiento de las emisiones con respecto al crecimiento de la economía nacional. Las emisiones de GEI por energía, por unidad de PIB fueron en 2010 de 0.048 kg de CO₂ eq. por peso del PIB, a precios constantes de 2003, lo cual representa una disminución del 6.6% con respecto a 1990, cuando dicho indicador fue de 0.051 kg de CO₂ eq. por peso del PIB¹⁹ (Figura IV. 33).

La intensidad energética mostró una tendencia hacia la baja (Figura IV.34), aunque su comportamiento varía año con año. Se observa un aumento de la intensidad energética para los siguientes periodos: 1993-1999-2004 y 2006-2009. En 2009 el incremento se debió a una mayor caída en el PIB (6.1%) con respecto al consumo de energía (3.6%).

■ Figura IV.33. Intensidad de las emisiones



■ Figura IV.34. Intensidad energética



¹⁹ Los datos del producto interno bruto para la serie 1990-2010, a precios constantes de 2003, se obtuvieron del Banco de Información Económica (BIE) del INEGI.

IV.8.3. Emisiones de GEI por consumo de electricidad

Existen dos metodologías propuestas por entidades mexicanas para el cálculo del factor de emisión por electricidad. La del Programa de GEI México como referente a la generación de energía eléctrica, mientras que la propuesta por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)²⁰ se basa en el consumo de energía eléctrica. Ambas metodologías consideran el total de emisiones de GEI por el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

La CONUEE relaciona las emisiones de GEI con el consumo de electricidad, es decir, con la energía facturada, descontando las pérdidas por transmisión y distribución en la red eléctrica.

El Programa GEI México relaciona las emisiones con la generación neta total, que es el resultado de la suma de la generación neta más las importaciones de electricidad y los excedentes vendidos a CFE por autoabastecedores.

El Cuadro IV.15 muestra los valores estimados para el factor de emisión de la red eléctrica para el periodo 1990-2010 conforme a la metodología de la CONUEE, y para el periodo 2003-2010 con la que propone el Programa GEI México, el cual solo se calculó a partir de 2003, por no contar con la información necesaria de los años anteriores.

■ Cuadro IV.15. Evolución del factor de emisión eléctrico

Año	CONUEE	GEI México
	tCO ₂ /MWh	tCO ₂ /MWh
1990	0.6739	-
1991	0.6777	-
1992	0.6465	-
1993	0.6474	-
1994	0.7140	-
1995	0.6415	-
1996	0.6410	-
1997	0.6696	-
1998	0.6958	-
1999	0.6597	-
2000	0.6683	-
2001	0.6888	-
2002	0.6796	-
2003	0.6860	0.6125
2004	0.6246	0.5520
2005	0.6324	0.5574
2006	0.6065	0.5281
2007	0.5822	0.5197
2008	0.5458	0.4723
2009	0.5918	0.5093
2010	0.5827	0.4980

Al ser la generación neta mayor que el consumo, el factor de emisión del Programa GEI México es menor al propuesto por la CONUEE.

Para obtener resultados coherentes con el INEGI, el factor de emisión que se recomienda emplear para consumo de electricidad es el propuesto por la CONUEE, mientras que para generación de electricidad se recomienda el propuesto por el Programa GEI México.

IV.9 Comparación internacional

Con el fin de ubicar las emisiones de CO₂ de México en el contexto internacional, se tomaron los datos de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles estimados

²⁰ CONUEE "Metodología para la cuantificación de emisiones de GEI"

por la AIE. En las comparaciones se incluyeron indicadores de intensidad, como las emisiones *per cápita* y las emisiones por unidad monetaria del PIB, para un grupo de 134 países. En el proceso de comparación se incluyeron datos de emisiones y PIB del 2009 (AIE, 2011). Junto con ello se incluyó el valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del 2009 (PNUD, 2011).

Para la comparación, se diferenció entre países Anexo I y No-Anexo I de la CMNUCC y si pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), organismo del cual México forma parte. Igualmente se señalaron los países de América Latina y el Caribe (ALyC) y aquellos países que integran el Grupo de los 8 (G8) y el Grupo de los 20 (G20). México participa en la CMNUCC como Parte No-Anexo I, es miembro de la OCDE y forma parte del G20.

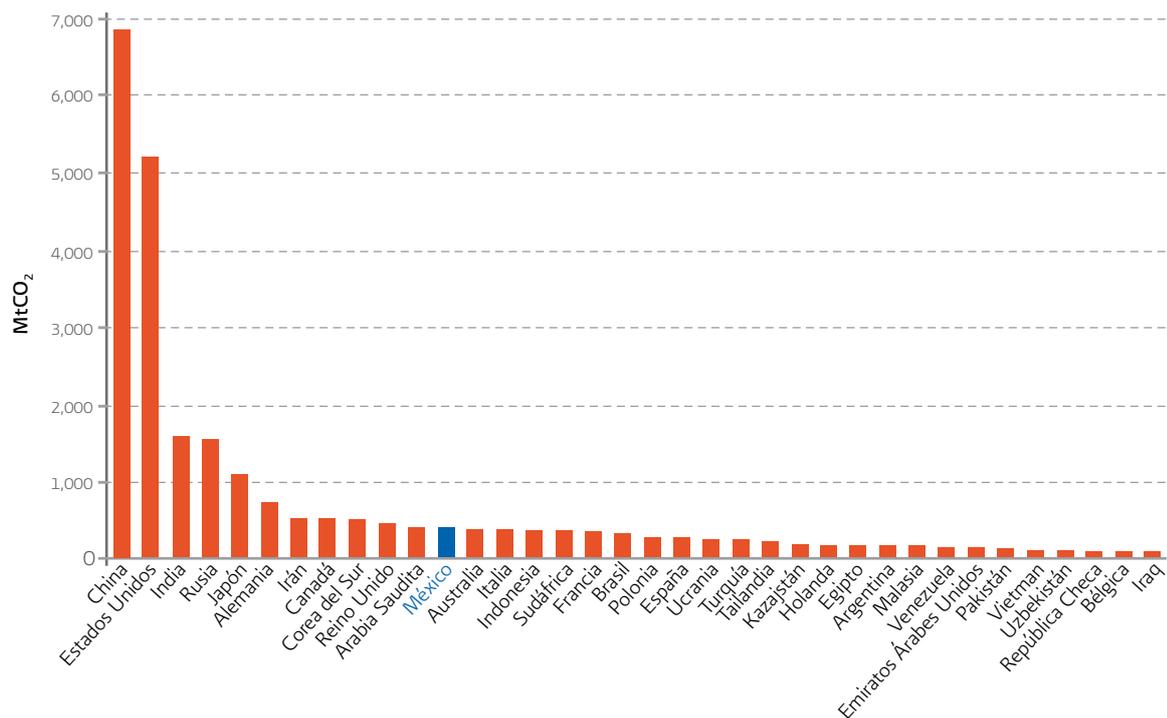
Es importante considerar que de 2008 a 2009 se agudizaron los efectos de la crisis financiera global²¹ (Ver

Capítulo I), por lo que las emisiones bajaron 1.5% a nivel mundial, y se observa un cambio en la posición que guardaban los países con respecto a lo informado en la Cuarta Comunicación Nacional.

De acuerdo a las estimaciones de la AIE, en 2009 las emisiones globales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles fueron 27,983.7 millones de toneladas; esta cifra no incluye las emisiones provenientes de la aviación y la navegación internacionales.

El Cuadro IV.16 muestra un listado de 36 países que en conjunto emiten el 90% de las emisiones mundiales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles. En el listado se encuentran 16 países Anexo I (AI) y 20 países No-Anexo I (NAI) de la CMNUCC; también se encuentran 16 países de los 30 que integran a la OCDE, la totalidad de los países del G20 y cuatro de ALyC (Figura IV.35).

■ Figura IV.35. Países con mayor contribución de emisiones de CO₂ por quema de combustible fósil en 2009



²¹ "Reporte sobre el sistema financiero del Banco de México", julio 2009.

■ Cuadro IV.16. Países que representan 90% de las emisiones globales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles [LA], 2009

No.	Estimación para el año 2009	PNUD	AIE Población	AIE PIB	AIE PIB	AIE PIB	Emisiones de CO ₂ Método Sectorial	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo
	País	Índice de Desarrollo Humano	millones	millones de dólares 2000	millones de dólares 2000, PPP*	millones de toneladas de CO ₂	Contribución a emisiones globales (%)	Total acumulado (millones de t CO ₂)	PIB per cápita (dólares 2000)	PIB per cápita (dólares 2000, PPP)	CO ₂ per cápita (t per cápita)	CO ₂ /PIB (kg CO ₂ /dólar 2000)	CO ₂ /PIB (kg CO ₂ /dólar 2000, PPP)	Cálculo
1	China	0.674	1,331.5	2,937.5	12,194.4	6,831.6	24.4	6 831.6	2,206.3	9,158.7	5.1	2.3	0.6	
2	Estados Unidos	0.906	3,07.5	11,357.1	11,357.1	5,195.0	18.6	12,026.6	36,935.6	36,935.6	16.9	0.5	0.5	
3	India	0.535	1,155.3	8,74.9	4,567.0	1,585.8	5.7	13,612.4	757.3	3,952.9	1.4	1.8	0.3	
4	Rusia	0.747	1,41.9	397.5	1,530.2	1,532.6	5.5	15,145.0	2,801.5	10,783.0	10.8	3.9	1.0	
5	Japón	0.895	1,27.3	4,872.2	3,392.9	1,092.9	3.9	16,237.9	38,265.1	26,646.6	8.6	0.2	0.3	
6	Alemania	0.9	81.9	1,998.7	2,243.2	750.2	2.7	16,988.1	24,411.0	27,397.6	9.2	0.4	0.3	
7	Irán	0.703	72.9	1,58.1	577.0	533.2	1.9	17,521.3	2,168.5	7,914.0	7.3	3.4	0.9	
8	Canadá	0.903	33.7	846.8	1,021.1	520.7	1.9	18,042.0	25,098.8	30,263.5	15.4	0.6	0.5	
9	Corea del Sur	0.889	48.7	752.8	1,141.0	515.5	1.8	18,557.5	15,443.6	23,406.4	10.6	0.7	0.5	
10	Reino Unido	0.86	61.8	1,677.1	1,742.6	465.8	1.7	19,023.3	27,141.1	28,201.4	7.5	0.3	0.3	
11	Arabia Saudita	0.763	25.4	249.5	371.9	410.5	1.5	19,433.8	9,827.9	14,647.2	16.2	1.6	1.1	
12	México	0.762	107.4	724.4	1,122.9	399.7	1.4	19,833.5	6,741.7	10,451.6	3.7	0.55	0.4	
13	Australia	0.926	22.1	535.2	703.8	394.9	1.4	20,228.3	24,217.5	31,845.4	17.9	0.7	0.6	
14	Italia	0.87	60.2	1,110.7	1,475.1	389.3	1.4	20,617.6	18,452.0	24,506.4	6.5	0.4	0.3	
15	Indonesia	0.607	230.0	258.5	938.7	376.3	1.3	20,993.9	1,124.1	4,082.0	1.6	1.5	0.4	
16	Sudáfrica	0.61	49.3	181.9	528.0	369.4	1.3	21,363.2	3,688.6	10,705.1	7.5	2.0	0.7	
17	Francia	0.88	64.5	1,472.8	1,702.0	354.3	1.3	21,717.5	22,836.0	26,390.6	5.5	0.2	0.2	
18	Brasil	0.708	193.7	856.0	1,652.1	337.8	1.2	22,055.3	4,418.5	8,527.7	1.7	0.4	0.2	

No.	Estimación para el año 2009	PNUD	AIE Población	AIE PIB	AIE PIB	AIE PIB	Emisiones de CO ₂ Método Sectorial	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo	Cálculo
	País	Índice de Desarrollo Humano	millones	miles de millones dólares 2000	miles de millones dólares 2000, PPP*	miles de millones dólares 2000, PPP*	millones de toneladas de CO ₂	Contribución a emisiones globales (%)	Total acumulado (millones de t CO ₂)	PIB per cápita (dólares 2000)	PIB per cápita (dólares 2000, PPP)	CO ₂ per cápita (t per cápita)	CO ₂ /PIB (kg CO ₂ /dólar 2000)	CO ₂ /PIB (kg CO ₂ /dólar 2000, PPP)	Cálculo
19	Polonia	0.807	38.2	241.7	570.4	570.4	286.8	1.0	22,342.1	6,334.1	14,950.0	7.5	1.2	0.5	0.5
20	España	0.874	45.9	713.4	1 054.6	1 054.6	283.4	1.0	22,625.5	15,531.9	22,961.5	6.2	0.4	0.3	0.3
21	Ucrania	0.72	46.0	45.4	288.2	288.2	256.4	0.9	22,881.9	986.7	6,265.2	5.6	5.6	0.9	0.9
22	Turquía	0.69	71.9	357.0	789.1	789.1	256.3	0.9	23,138.2	4,964.9	10,975.1	3.6	0.7	0.3	0.3
23	Tailandia	0.673	67.8	173.9	550.4	550.4	227.8	0.8	23,366.0	2,566.6	8,122.1	3.4	1.3	0.4	0.4
24	Kazajistán	0.733	15.9	37.8	133.5	133.5	189.5	0.7	23,555.5	2,376.2	8,401.2	11.9	5.0	1.4	1.4
25	Holanda	0.905	16.5	432.5	525.8	525.8	176.1	0.6	23,731.6	26,168.2	31,816.8	10.7	0.4	0.3	0.3
26	Egipto	0.638	83.0	152.4	362.2	362.2	175.4	0.6	23,907.0	1,835.7	4,363.7	2.1	1.2	0.5	0.5
27	Argentina	0.788	40.3	398.0	624.9	624.9	166.6	0.6	24,073.6	9,880.6	15,514.2	4.1	0.4	0.3	0.3
28	Malasia	0.752	27.5	137.1	299.3	299.3	164.2	0.6	24,237.8	4,992.4	10,898.1	6.0	1.2	0.5	0.5
29	Venezuela	0.732	28.4	160.0	191.2	191.2	154.6	0.6	24,392.4	5,637.7	6,737.3	5.4	1.0	0.8	0.8
30	Emiratos Árabes Unidos	0.841	4.6	118.1	116.6	116.6	147.0	0.5	24,539.4	25,670.4	25,360.9	32.0	1.2	1.3	1.3
31	Pakistán	0.499	169.7	111.5	394.9	394.9	136.9	0.5	24,676.4	656.9	2,326.9	0.8	1.2	0.3	0.3
32	Vietnam	0.584	87.3	58.8	298.9	298.9	114.1	0.4	24,790.4	674.2	3,425.1	1.3	1.9	0.4	0.4
33	Uzbekistán	0.631	27.8	24.8	66.5	66.5	112.4	0.4	24,902.8	892.8	2,395.4	4.0	4.5	1.7	1.7
34	República Checa	0.863	10.5	75.9	206.0	206.0	109.8	0.4	25,012.6	7,220.4	19,606.5	10.5	1.4	0.5	0.5
35	Bélgica	0.883	10.8	260.8	317.7	317.7	100.7	0.4	25,113.3	24,173.6	29,444.7	9.3	0.4	0.3	0.3
36	Iraq	0.565	28.9	23.0	31.5	31.5	98.8	0.4	25,212.1	795.0	1,086.9	3.4	4.3	3.1	3.1

* PPP: Purchasing Power Parity: Paridad de Poder Adquisitivo.

Los cuatro países de ALyC: Argentina, Brasil, México y Venezuela, generaron el 3.8% de las emisiones globales de CO₂ del 2009. De acuerdo a las cifras reportadas por la AIE para ese año, a nivel mundial México ocupó el lugar 12 en las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, con un total de 399.7 millones de toneladas de CO₂, lo que representó 1.4% de las emisiones globales.

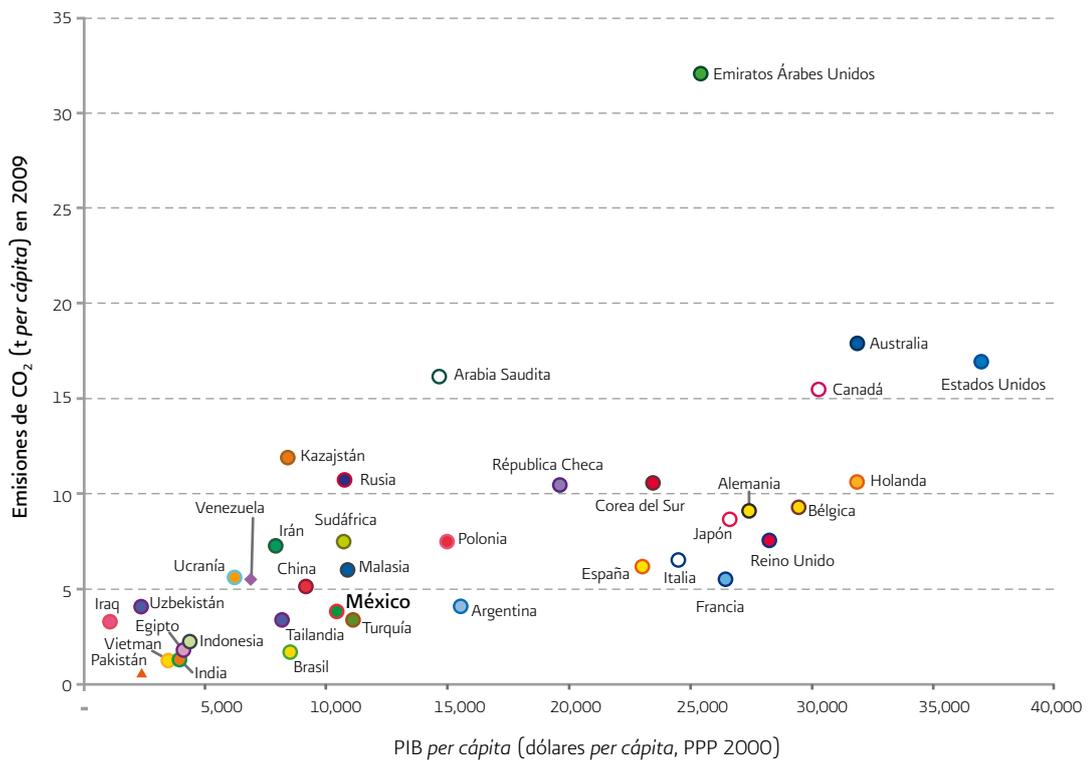
La Figura IV.36 muestra una comparación de las emisiones de CO₂ y el PIB *per cápita* de los 36 países (Cuadro IV.16), los cuales representan el 85.7% del PIB mundial.

En general, los países que gozan de un mayor nivel de ingreso *per cápita* son aquellos que igualmente emiten

una mayor cantidad de CO₂ por habitante por la quema de combustibles fósiles. En la medida en que el nivel de ingreso es menor, un mayor porcentaje de la población utiliza combustibles tradicionales, como la leña o el bagazo.

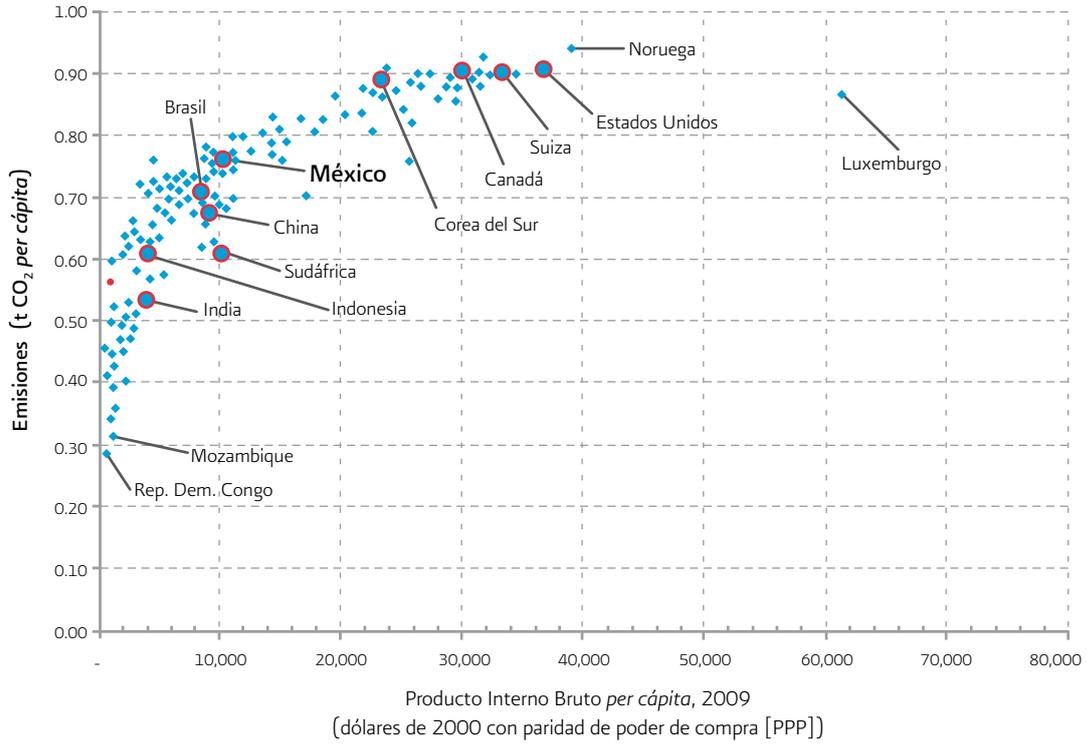
En el caso de países que dependen del carbón como principal fuente de energía, se presentan mayores emisiones *per cápita* aun cuando el nivel de ingreso sea menor, mientras que en países donde la matriz energética incluye una mayor proporción de generación con energía nuclear, geotérmica o hidroeléctrica, las emisiones *per cápita* son menores, aun cuando exista un mayor nivel de ingreso.

■ Figura IV.36. Comparación Internacional de emisiones de CO₂ *per cápita*, 2009

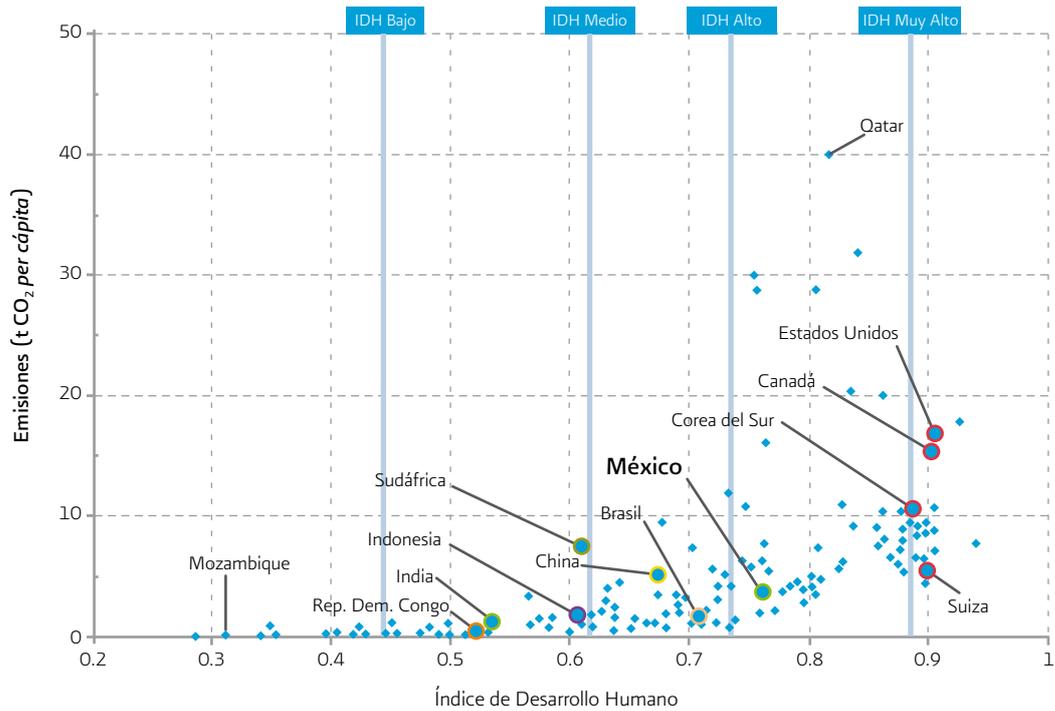


Fuente: Elaborado a partir de información de AIE, 2011.

■ Figura IV.37. Comparación internacional del PIB *per cápita* e IDH, 2009



■ Figura IV.38. Comparación internacional de emisiones (tCO₂/hab) *per cápita* e IDH, 2009



Otra comparación relevante para las emisiones de CO₂ es con respecto al IDH, que mide los logros alcanzados por un país en cuanto a tres dimensiones básicas del desarrollo: 1) salud y esperanza de vida; 2) educación de la población, y 3) ingreso *per cápita*.

Como se muestra en la Figura IV.37, un alto valor del IDH está generalmente asociado a una mayor emisión *per cápita*. En aquellos países donde existe una mayor dependencia de combustibles tradicionales (como la biomasa), tanto el IDH como el nivel de emisiones son menores; por otro lado, en los países donde de manera preponderante existe un consumo de combustibles comerciales, generalmente fósiles, se emiten mayores emisiones de CO₂ y existe un nivel de desarrollo humano más alto.

A pesar de que México presentó un valor de IDH alto desde 2005, su nivel de ingreso y de emisiones *per cápita* guarda más parecido con países cuyo nivel de desarrollo humano es medio, como se puede apreciar en la Figura IV.38. De acuerdo a los datos del IDH 2009 y a las estimaciones de CO₂ de la AIE, México se ubica en el lugar 57 del mundo en términos de desarrollo humano, en el lugar 56 en ingreso *per cápita*²² y en el puesto 65 en emisiones de CO₂ *per cápita* por quema de combustibles fósiles.

IV.10 Conclusiones sobre el INEGEI

Las emisiones de gases de efecto invernadero en unidades de CO₂ eq., crecieron 33.4% en el periodo 1990 a 2010. La categoría de Energía prevalece como la principal fuente de emisiones de GEI, y dentro de ésta, el transporte y la generación de energía eléctrica predominan como fuentes clave de emisión.

El crecimiento de las emisiones de GEI en México es menor al de su economía. Entre 1990 y 2010 la econo-

mía creció a una TCMA de 2.5%, mientras que las emisiones crecieron al 1.5% anual.

La mejora en la eficiencia energética nacional y la inversión hacia el uso de tecnologías más eficientes han logrado que la intensidad energética (consumo de energía por peso del PIB) y la intensidad de emisiones (emisiones de CO₂ por peso del PIB) mejoraran entre 1990 y 2010; ambas intensidades muestran una tendencia hacia la baja.

La intensidad energética disminuyó de 737.2 kJ a 688.1 kJ por peso del PIB, un decremento del 6.7%. Por su parte, la intensidad de emisiones por energía se redujo de 0.051 kg a 0.048 kg de CO₂ eq. por peso del PIB (a precios de 2003), lo que representa una disminución del 6.6%.

Cabe mencionar que para los últimos tres años se tuvo una reducción de emisiones de CH₄ por la implementación de proyectos bajo el esquema del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) en manejo de estiércol, equivalentes a 3,388.93 Gg de CO₂ eq.; sin embargo, esta reducción no se consideró en el inventario (Ver Capítulo V).

Las emisiones de GEI por habitante, considerando únicamente las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles en el INEGEI, se ubican en 3.63 toneladas en 2009; comparado con las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles de la Agencia Internacional de Energía que informa para México de 3.72 toneladas de CO₂ por habitante en 2009, y la media mundial de 4.3 toneladas de CO₂ por habitante.

Con las cifras obtenidas en el INEGEI 1990-2010 se confirma que en México existen indicios de desacoplamiento entre el crecimiento económico y el crecimiento de las emisiones de GEI.

²² Considera el PIB *per cápita* a dólares constantes de 2000, con paridad del poder de compra (PPP, por sus siglas en inglés) para los países.

IV.11. Referencias

- AIE, 2011. CO₂ emissions from fuel combustion Highlight. París, Francia.
- Bachmann, J., 2009. Black Carbon: A Science/Policy Primer, Pew Center on Global Climate Change.
- CMNUCC, 2003. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su octavo periodo de sesiones. Decisiones Adoptadas por la Conferencia de las Partes. Decisión 17/CP.8 Directrices para la preparación de comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención. Documento FCCC/CP/2002/7/Add.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, A. Lacis, and V. Oinas, 2000. "Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario." Proceedings of the National Academies of Sciences 97: 9875-9880.
- Grieshop, A. P., et al., 2009. "A black-carbon mitigation wedge." Nature Geoscience 2: 533-534.
- INE-PNUD-SEMARNAT, 2012. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 en la categoría Agricultura.
- INE-PNUD-SEMARNAT, 2012a. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 en la categoría de Desechos.
- INE-PNUD-SEMARNAT, 2012b. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 en el sector USCUS.
- INE-PNUD-SEMARNAT, 2012c. Consultoría para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero para las categorías de Energía, Procesos Industriales y Utilización de Solventes y otros Productos, para el periodo 1990-2010.
- INE-SEMARNAT, 2007. Estimación de los factores de emisión. México.
- INE-SEMARNAT, 2009. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de México, Capítulo II.
- INE-SEMARNAT, 2010. Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación.
- INE-SEMARNAT, 2011. Enfoque Sistémico de la Elaboración de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, México.
- INE-SEMARNAT, 2011a. Recopilación y análisis de los datos de actividad para las categorías de Energía, Procesos Industriales y Utilización de Solventes y otros Productos, para la realización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010.
- INEGI, 1990-2010. Anuario de la Industria Siderúrgica Mexicana.
- Jacobson, M. Z., 2007. "Testimony for the Hearing on Black Carbon and Arctic, House Committee on Oversight and Government Reform." Disponible en: <http://oversight.house.gov/documents/20071018110606.pdf>.
- PICC, 1997. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Manual de Referencia. UNEP, WMO.
- PICC, 2000. Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. IGES, UNEP, WMO.
- PICC, 2006. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. IGES, UNEP, WMO.
- SENER, 2003. Balance Nacional de Energía 2002. México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/balance2002.pdf
- SENER, 2011. Balance Nacional de Energía 2010. México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2011/Balance%20Nacional%20de%20Energía%202010_2.pdf
- SENER, 2011b. Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025. México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf
- INE, 2010. Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación. Ciudad de México, Instituto Nacional de Ecología: 118.
- UNDP, 2011. Human Development Report 2011, New York.
- Wallack, J. S. and V. Ramanathan (2009). "The Other

Climate Changers Why Black Carbon and Ozone Also Matter.” Foreign Affairs 88(5): 105-113.

IV.12. Anexo

Potencial de calentamiento

■ Cuadro IV.17. Potencial de calentamiento (conversión a CO₂ eq.)

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento (horizonte a 100 años)
Bióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	310
HFC-125	2,800
HFC-143a	3,800
HFC-236fa	6,300
Perfluorometano (CF ₄)	6,500
Perfluorobutano (C ₄ F ₁₀)	7,000
Perfluorohexano (C ₆ F ₁₄)	7,400
Perfluoroetano (C ₂ F ₆)	9,200
HFC-23	11,700
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	23,900

Fuente: Segundo Informe de Evaluación, PICC.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para 2010

■ Cuadro IV.18. INEGEI 2010 (Gg de CO₂ eq.)

Categoría de emisión	2010											
	Año	CO ₂					N ₂ O					Total Gg de CO ₂ eq.
	Gases GEI Categoría PICC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆					
TOTAL de emisiones nacionales		493,450.6	166,716.4	69,140.1	18,692.3	128.4	124.4	748,252.2				
Energía	1	405,130.2	84,966.0	13,721.5				503,817.6				
Consumo de combustibles fósiles (Método sectorial)	1A	405,130.2	1,846.2	13,721.5				420,697.9				
Industria generadora de energía	1A1	162,232.4	163.9	572.9				162,969.2				
Generación eléctrica	1A1a	114,873.4	136.3	527.7				115,537.4				
Consumo propio	1A1b	47,359.0	27.7	45.2				47,431.9				
Manufactura e industria de la construcción	1A2	56,488.6	78.5	173.7				56,740.8				
Hierro y Acero	1A2a	7,779.1	3.2	15.5				7,797.9				
Metales no ferrosos	1A2b	70.1	0.0	0.0				70.2				
Productos químicos	1A2c	9,548.1	5.1	6.0				9,559.1				
Pulpa, papel e impresión	1A2d	2,492.3	1.3	2.8				2,496.4				
Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1A2e	2,270.4	52.7	105.6				2,428.8				
Cemento	1A2f	9,442.6	2.1	12.2				9,456.9				
Otros	1A2g	24,885.9	14.0	31.6				24,931.5				
Transporte	1A3	153,384.5	469.7	12,557.8				166,412.0				

Categoría de emisión	Año	2010								
		Gases GEI		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Total Gg de CO ₂ eq.
		Categoría PICC	Categoría							
Aviación civil	1A3a		4,834.8	2.4	49.3					4,886.5
Autotransporte	1A3b		144,283.6	461.2	12,497.7					157,242.4
Ferrocarril	1A3c		1,934.3	2.8	4.9					1,942.0
Navegación	1A3d		2,331.8	3.3	5.9					2,341.0
Otros sectores	1A4		33,024.7	1,134.0	417.1					34,575.8
Comercio y sectores institucionales	1A4a		4,809.7	13.8	19.1					4,842.6
Residencial	1A4b		19,986.7	1,096.5	377.0					21,460.1
Agricultura, pesca y forestal	1A4c		8,228.3	23.8	21.0					8,273.1
Emissiones fugitivas de combustibles	1B		0.0	83,119.8	0.0					83,119.8
Combustibles sólidos	1B1		0.0	6,556.9	0.0					6,556.9
Petróleo y gas natural	1B2		0.0	76,562.9	0.0					76,562.9
Procesos Industriales	Z		42,081.4	70.0	130.4	18,692.3	128.4	124.4		61,226.9
Productos minerales	ZA		35,233.7	0.0	0.0					35,233.7
Producción de cemento	ZA1		20,003.3							20,003.3
Producción de óxido e hidróxido de calcio	ZA2		2,664.3							2,664.3
Uso de piedra caliza y dolomita	ZA3		12,445.7							12,445.7
Producción y uso de carbonato de sodio	ZA4		120.4							120.4
Industria química	ZB		1,348.5	70.0	130.4	0.0	0.0	0.0		1,548.9
Producción de metales	ZC		5,499.2	0.0	0.0		128.4	0.0		5,627.6

Categoría de emisión	Año	2010								Total Gg de CO ₂ eq.
		Gases GEI		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	
		Categoría PICC								
Producción de hierro y acero	2C1		5,111.0							5,111.0
Producción de ferroaleaciones	2C2		358.2							358.2
Producción de aluminio	2C3		30.0			128.4				158.4
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2E					3,897.8	0.0	0.0		3,897.8
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	2F					14,794.6	0.0	0.0	124.4	14,919.0
Agricultura	4		39,247.0		52,937.4					92,184.4
Fermentación entérica	4A		37,961.5							37,961.5
Manejo de estiércol	4B		1,106.0		6,447.5					7,553.5
Cultivo de arroz	4C		137.8							137.8
Suelos agrícolas	4D		0.0		46,479.8					46,479.8
Quemas programadas de suelos	4E		0.0		0.0					0.0
Quemas in situ de residuos agrícolas	4F		41.8		10.2					51.9
Cambio de uso de suelo y silvicultura	5		45,669.6		112.7					46,892.4
Cambio en bosques y otros reservorios de biomasa leñosa	5A		5,860.6							5,860.6

Categoría de emisión	Año	2010								
		Gases GEI		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Total Gg de CO ₂ eq.
		Categoría PICC								
Conversión de bosques y pastizales	5B		45,325.1	1,110.1	112.7					46,547.9
Abandono de tierras agrícolas	5C		-18,109.2							-18,109.2
Suelos	5D		12,593.0							12,593.0
Asentamientos	5E									0.0
Desechos (PICC, 2006)	4		569.4	41,323.4	2,238.1					44,130.8
Eliminación de desechos sólidos	4A			22,117.7						22,117.7
Tratamiento biológico de los desechos sólidos	4B			249.7	127.1					376.8
Incineración e incineración abierta de desechos	4C		569.4	501.8	168.8					1,239.9
Tratamiento y eliminación de aguas residuales	4D		0.0	18,454.1	1,942.3					20,396.4
Información adicional										
Búnkeres internacionales			3,395.1	8.5	28.5					3,432.0
Aviación internacional			3,297.9	8.3	28.3					3,334.6
Navegación internacional			97.2	0.1	0.2					97.6
Emissiones de CO ₂ por quema de biomasa			37,387.2							37,387.2

Inventario Nacional de Emisiones de Carbono Negro

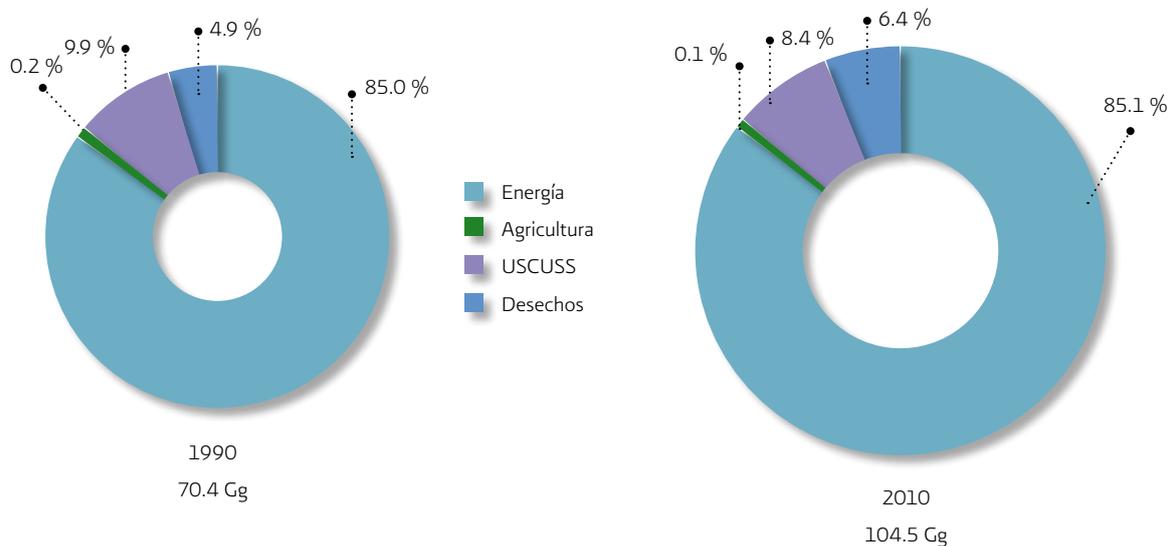
El carbono negro (CN) es producto de la combustión incompleta y por lo tanto es co-emitido junto con el monóxido de carbono (CO), aunque en proporciones diferentes de acuerdo al tipo de fuente emisora. Por consiguiente, se estimaron las emisiones de CN para las fuentes en el INEGI que incluyen emisiones de CO por combustión utilizando los mismos datos de actividad que para estimar las emisiones de CO.

El CN puede impactar el cambio climático por su capacidad para absorber grandes cantidades de energía: un gramo de partículas de CN puede absorber más de un millón de veces más energía radiante que un gramo de CO₂. Sin embargo, debido a que las emisiones de CO₂ son más de 3,000 veces superiores y su tiempo de vida en la atmósfera es más de 2,500 veces más grande que el tiempo de vida del CN, a largo plazo el CO₂ es la especie dominante que impacta el calentamiento global (Bachmann, 2009). No obstante ello, la reducción de las emisiones de CN puede producir resultados casi inmediatos en el balance energético a escala regional porque su vida

media en la atmósfera es solo de algunos días. Además, el CN puede tener efectos directos sobre la salud humana y puede afectar los patrones de precipitación a escala local y regional. Por lo tanto, los controles dirigidos a reducir las emisiones de CN tienen el beneficio potencial de mitigar los impactos en el clima y mejorar la calidad del aire, induciendo con ello beneficios para la salud pública como un complemento a las estrategias globales para la mitigación del cambio climático basadas en el control de los gases de efecto invernadero (GEI) (Hansen, 2000; Jacobson, 2007; Grieshop et al., 2009; Wallack and Ramanathan, 2009).

Las emisiones de CN en México fueron estimadas en 70.4 Gg en 1990 y en 104.5 Gg en 2010 (Cuadro IV.19), lo que representa un incremento de 48.5%. La distribución de las emisiones de CN por fuente sectorial no varió sustancialmente de 1990 a 2010 (Figura IV.39). En este periodo el sector energético contribuyó con cerca del 85% de las emisiones de CN. Le siguen, con contribuciones muy similares al inicio y al fin del periodo, las emisiones por cambio del uso del suelo y por quema a cielo abierto de desechos sólidos domésticos y municipales.

■ Figura IV.39. Distribución relativa de las emisiones de CN en 1990 y 2010



Las emisiones de CN en Energía fueron en 1990 de 59.8 Gg y de 88.9 en 2010, lo cual representa un incremento del 48.6%. La Figura IV.40 muestra las emisiones de este sector por subsector emisor: consumo propio y generación eléctrica, manufactura e industria de la construcción, transporte, agrícola, comercial y residencial.

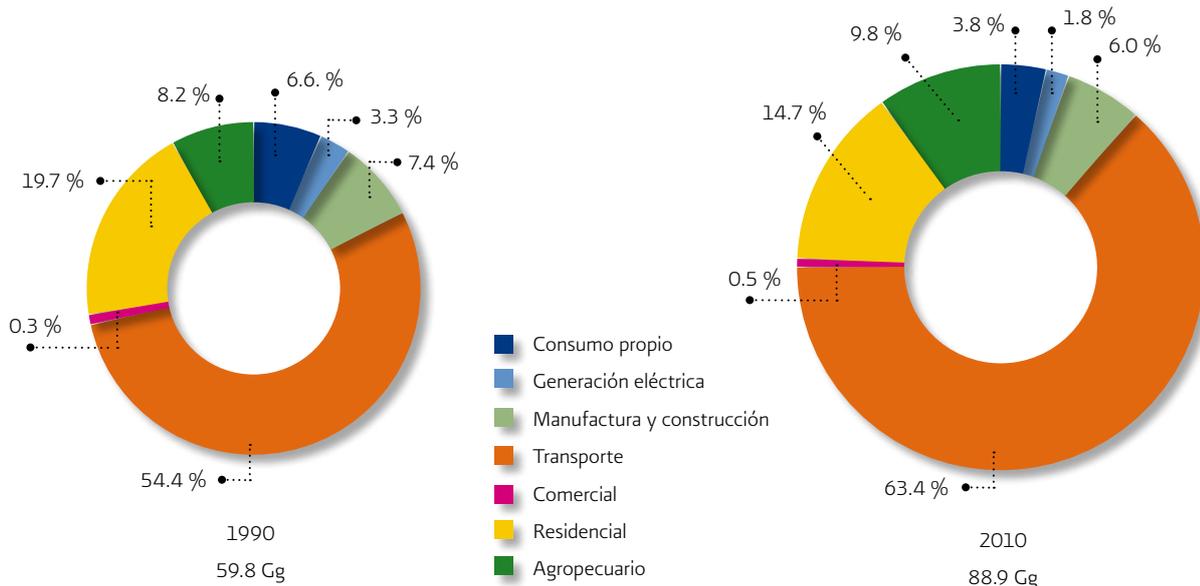
En el sector Energía las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CN fueron el transporte, por el consumo de diesel, el subsector residencial, por el consumo de leña, y el agrícola, también por el consumo de

diesel pero en forma "off road". El subsector transporte es por mucho la principal fuente emisora de CN y dentro de este, el autotransporte de carga y pasajeros presenta la mayor contribución a las emisiones. En 1990 las emisiones de CN fueron de 32.6 Gg y en 2010, de 56.4 Gg, mostrando un incremento del 72.9%. En el sector Energía la siguiente fuente emisora en importancia es el subsector de consumo residencial de leña, que muestra un comportamiento muy estable en las emisiones entre 1990 (11.8 Gg) y 2010 (13 Gg).

■ Cuadro IV.19. Emisiones de Carbono Negro (Gg) por cuatro fuentes sectoriales del INEGI

Año	Energía	Agricultura	USCUSS	Desechos	Total
1990	59.831	0.120	6.961	3.456	70.367
1991	64.553	0.115	6.036	3.537	74.241
1992	65.687	0.125	6.036	4.376	76.223
1993	63.062	0.128	6.036	5.731	74.957
1994	66.897	0.121	6.036	5.775	78.829
1995	62.885	0.133	6.036	6.076	75.129
1996	65.507	0.133	6.036	6.141	77.817
1997	69.040	0.134	6.036	5.552	80.761
1998	72.518	0.142	6.036	5.721	84.416
1999	69.216	0.136	6.036	5.634	81.021
2000	72.106	0.128	6.036	5.784	84.054
2001	69.054	0.138	6.036	5.913	81.141
2002	68.109	0.138	8.780	5.884	82.911
2003	72.441	0.144	8.780	6.002	87.366
2004	77.511	0.147	8.780	6.005	92.443
2005	76.946	0.156	8.780	6.150	92.032
2006	80.073	0.151	8.780	6.214	95.219
2007	86.047	0.157	8.780	6.557	101.542
2008	94.716	0.154	8.780	6.447	110.097
2009	87.286	0.147	8.780	6.550	102.764
2010	88.915	0.152	8.780	6.670	104.517

■ Figura IV.40. Contribución relativa de los subsectores de Energía a las emisiones de CN en México en 1990 y 2010



La tercera fuente emisora de CN más importante en el sector Energía es el subsector de consumo de diesel en el sector agrícola. En 1990 sus emisiones fueron de 4.9 Gg y en 2010 de 8.7 Gg de CN, lo cual representa un aumento de 77.4 %. Las emisiones en este subsector se deben al uso de diesel para las actividades productivas, excluyendo el transporte de sus insumos y productos, el cual ya está contabilizado en el subsector transporte.

La principal fuente de emisiones de CN en el sector de Procesos Industriales es la industria siderúrgica, con la producción del coque y su uso en altos hornos como agente reductor y fuente de calor. Su contribución ya está incluida en las estimaciones de las emisiones del sector energético.

La estimación de las emisiones de CN por la quema de residuos agrícolas corresponde únicamente a la quema de caña de azúcar para la zafra, única actividad para la que hay información disponible; estas fueron de 0.12 Gg para 1990 y 0.152 Gg para 2010, lo que representa un incremento del 26.7%. La quema del bagazo de caña en los ingenios azucareros se reporta en el sector energía. La contribución de esta fuente sectorial es marginal, pero su inventario no es exhaustivo debido a la ausencia de estadísticas sistemáticas para todas las actividades, pues

no se contabiliza la quema in situ de residuos agrícolas como práctica para mineralizar el suelo.

Las emisiones de CN por quema a cielo abierto de biomasa vegetal en bosques, selvas y pastizales en 1990 se estimaron en 6.96 Gg y en 2010 en 8.78 Gg, lo que representa un incremento del 26.1%. Sin embargo, los datos de actividad para este sector se construyeron comparando los inventarios nacionales forestales complementados con estudios puntuales, lo que genera tasas promedio de quema de biomasa. Por tanto, las variaciones anuales por procesos como incendios forestales no están representadas en este inventario.

En el sector Desechos se estimaron únicamente las emisiones de CN por la quema de residuos sólidos peligrosos (solamente desechos clínicos) y por la quema a cielo abierto de desechos sólidos municipales. En este inventario solo se considera la incineración de desechos clínicos, la cual arrojó una contribución muy marginal al inventario de emisiones de carbono negro, y solo se cuenta con datos a partir de 1995. La principal contribución proviene de la quema a cielo abierto de desechos sólidos municipales. Las emisiones de CN por la quema a cielo abierto de desechos sólidos municipales se estimaron en 3.5 Gg en 1990 y en 6.7 Gg en 2010, lo que

representa un incremento del 91.4%. Sin embargo, para esta fuente solo se estimaron las emisiones de CN por la quema a cielo abierto de basura en el medio rural. La estimación de las emisiones de CN por incendios en tiraderos y rellenos sanitarios urbanos no fue incluida en este inventario.

Este inventario reporta la estimación de CN para las mismas fuentes sectoriales del INEGI en las que se incluyen procesos de combustión que dan lugar a la emisión de monóxido de carbono. La incertidumbre es algo superior al 50%, debido a la alta incertidumbre en los factores de emisión. Actualmente las bases de datos sobre factores de emisión son todavía pocas y están cons-

truidas sobre un conjunto reducido de experimentos de laboratorio y estudios de campo. Adicionalmente, siendo la emisión de CN altamente dependiente de las condiciones particulares de los procesos de combustión, incluso dentro de fuentes emisoras pertenecientes al mismo sector, factores de emisión por defecto deben contener una alta incertidumbre.

En este reporte se demuestra que es posible elaborar un inventario nacional de emisiones de carbono negro de manera sistemática, como parte del sistema nacional de inventarios de gases de efecto invernadero, siguiendo las metodologías del PICC.