

## Inventario de emisiones en 2005 de gases de efecto invernadero por el sector energético mexicano

### *Greenhouse Gases Emissions Inventory in 2005 by the Mexican Energy Sector*

R. Flores-Velázquez

*Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.*

*E-mail: rfv@iie.org.mx*

R. Muñoz Ledo-Carranza

*Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.*

*E-mail: rml@iie.org.mx*

D. Villalba-Valle

*Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.*

*E-mail: danviva17@yahoo.com.mx*

(Recibido: agosto de 2007; aceptado: noviembre de 2007)

#### **Resumen**

En este trabajo se calcularon las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI's) del 2005 por la sección de consumo y/o transformación de energía en México. El documento obtenido no es oficial, y como referencia, se utiliza el consumo de combustible que refiere el Balance Nacional de Energía 2005, publicado por la Secretaría de Energía. Con esto, se estandarizan las fuentes de emisión que en algún momento usará el Inventario Nacional de Emisiones de GEI's 2005. Para resolver la falta de factores de emisión propios de México, se recurre a los factores globales de emisión propuestos como valores por omisión por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Para la estimación de las emisiones de GEI's se utilizó el Método Sectorial tomando en consideración el consumo de combustible de cada uno de los subsectores en que se encuentra dividido el sector energético. Se encontró que los sectores transporte y de la industria de la transformación de energía son los que más emisiones de GEI's presentan, y que México como país no industrializado tiene menos emisiones per cápita que los países desarrollados.

**Descriptores:** gases de efecto de invernadero, protocolo de Kyoto, inventario de emisiones, consumodecombustible.

#### **Abstract**

*In the present work, it is estimated the greenhouse gases (GHG, GEI in this paper) emissions in 2005 by the consumption and/or transformation of energy in Mexico. This document is not official, and it is used as reference the fuel consumption reported in the Balance Nacional de Energía 2005 published by the Secretaria de Energía. In this way, it is standardized the emission sources that will be used in the near future to estimated the official*

*2005 GHG Emissions Inventory. In order to solve the absence of own emission factors in Mexico, it is used the default global emission factors proposed by the Intergovernmental Panel for Climate Change. The Sectorial Method was used to estimate the GHG emissions taking in account the fuel consumption in each subsector considered in the energy sector. It was found that the transport and energy industries sectors had the most GHG emissions, and that Mexico as a non-industrialized country had lower per capita emissions that developed countries.*

**Keywords:** Greenhouse gases, Kyoto protocol, emission inventory, fuel consumption.

## Introducción

Entre los temas ambientales de mayor relevancia a nivel mundial destaca el relacionado con el Cambio Climático. Se sabe que existe un efecto invernadero natural que mantiene la temperatura de la Tierra más caliente que lo que sería si no existiese tal efecto. Por otra parte, es claro que las emisiones derivadas de las actividades antropogénicas (humanas) han aumentado sustancialmente las concentraciones atmosféricas de los Gases de Efecto de Invernadero (GEI's) que causan este efecto. Dentro de los principales GEI's emitidos a la atmósfera se encuentran el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), y los gases de refrigeración de origen sintético como los clorofluorocarbonos (CFC).

Se ha comprobado que el aumento de las concentraciones de los GEI's en la atmósfera afectan el clima de la Tierra, aunque hay discrepancia en la magnitud global y local de los impactos y el tiempo en que ocurrirán estos. El conocimiento de la magnitud de las emisiones de los GEI's mediante la elaboración de inventarios, los medios para reducirlas y/o las adaptaciones para enfrentar el calentamiento global de la Tierra juegan un papel preponderante para mejorar nuestro entendimiento de las implicaciones sociales, económicas y políticas de este efecto.

A nivel mundial, ya se tomaron medidas para evitar en lo posible las potenciales modificaciones al Cambio Climático. La Convención sobre Cambio Climático, firmada por 154 países, incluido México, durante la Cumbre de Río, implica un compromiso, principalmente por parte de las naciones industrializadas, para disminuir las emisiones de  $\text{CO}_2$  a los niveles de 1990. El compromiso firmado establece que cada país deberá desarrollar una estrategia nacional para reducir sus emisiones de GEI's de acuerdo al Protocolo de Kyoto. Dentro de los acuerdos aprobados en el Protocolo de Kyoto, la decisión 17 de la Conferencia de partes número 8, indica que las Partes (países), deben entregar un comunicado, informe ó inventario nacional de las emisiones antropogénicas de GEI's, en donde se incluyan las fuentes de emisión, absorción (sumideros) de dichos gases y que

no están incluidos en el Protocolo de Montreal. El inventario de emisiones de GEI's se debe desarrollar conforme a lo que se estipula en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, del inglés *United Nations Framework Convention on Climate Change*) (Naciones Unidas, 1992).

Las estimaciones que se pueden realizar en las Partes, en donde México y Latinoamérica están incluidos, son de Nivel I de acuerdo a las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, del inglés del inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*), porque utilizan los factores de emisión por defecto (No hay factores de emisión propios como requieren en las metodologías de Nivel 2) que proporciona el mismo IPCC (Penman *et al.*, 2000).

Las emisiones de GEI's se deben desglosar por gas y fuente de emisión. El reporte se hace en  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) utilizando los valores del Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) a 100 años de los GEI's que proporciona el mismo IPCC, y que se muestran en la tabla 1. El PCT es una medida, a lo largo de un periodo de tiempo de la emisión de un kilogramo de un GEI (diferente al  $\text{CO}_2$ ) comparada al efecto de un kilogramo de  $\text{CO}_2$  en el mismo periodo de tiempo. Un ejemplo típico se tiene al comparar el  $\text{CH}_4$ , que tiene un PCT 23 veces mayor que el  $\text{CO}_2$  y tarda 8 años en reaccionar y ser absorbido totalmente en la atmósfera.

México, como Parte (Naciones Unidas, 1998), no está obligado de reducir las emisiones de GEI's para el periodo 2008 - 2012, pero si tiene el compromiso de presentar un inventario nacional de GEI's en un comunicado oficial a la UNFCCC.

En el presente trabajo se describe el procedimiento para desarrollar el inventario nacional de emisiones de GEI's por cuestiones de consumo y transformación de energía, aclarando que dicho inventario no es oficial, pero que la información base de consumo y transformación de energía proviene del Balance Nacional de Energía 2005 (Secretaría de Energía, 2006).

Tabla 1. Potencial de calentamiento de los principales gases de efecto de invernadero

Especie	Tiempo de vida	Potencial de 20 años	Calentamiento 100 años	Global 500 años
$CO_2$	variable	1	1	1
$CH_4$	12±3	56	21	6.5
$N_2O$	120	280	310	170
HFC – 23	264	9100	11700	9800
HFC – 32	5.6	2100	650	200
$SF_6$	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	10000	6200	9200	14000
Perfluorohexano	3200	5000	7400	10700

### Antecedentes

En México, el último Inventario Nacional de Emisiones de GEI's se realizó en 2002 (INEGEI, 2004). En dicho documento se observa que las emisiones de GEI's, debido a la quema de combustibles, fue de 350 Tg de  $CO_{2eq}$ , lo que representa un 54% del total de las emisiones reportadas ese año. Además, se puede notar que las emisiones en ese año fueron 70 Tg de  $CO_{2eq}$  más altas que en 1990, el año que se toma como línea base en el Protocolo de Kyoto. Asimismo, el sector de la industria de la energía participó con cerca del 40% de las emisiones, debido a la quema de combustibles, mientras que el sector transporte tuvo el 29% del total de las emisiones. El resto de las actividades como el cambio de uso de suelo (LULUCF, del inglés *Land Use, Land-Use Change and Forestry*), procesos industriales, fugas de combustibles líquidos y gaseosos (naturales y/o sintéticos) que se dan tanto en consumo como en transporte, así como la descomposición de los desechos que complementan las emisiones del año 2002, dando un total de 643 Tg de  $CO_{2eq}$ . La "Estrategia de México ante el Cambio Climático Global 2007" (CICC, 2007), señala que México en el año 2000 ocupaba el 13° lugar de emisiones de  $CO_{2eq}$  con 622.6 Tg (1.51% del total mundial reportado), lo cual da 6.40 Mg per capita anual. Esto está 1.54 Mg arriba del promedio de las Partes, que marca el Protocolo de Kyoto (4.86 Mg), ligeramente abajo del promedio mundial (6.55 Mg).

### Metodología

La estimación de las emisiones de GEI's se realizó utilizando los factores de emisión y procedimientos de

cálculo contenidos en la metodología propuesta por el IPCC referentes al módulo I de energía (Penman *et al.*, 2000). Asimismo, se tomaron como referencia los datos relacionados a la producción y consumo de combustibles fósiles reportados en el Balance Nacional de Energía 2005. Para los cálculos de las emisiones se utilizó el software UNFCCC non-Annex I Greenhouse Gas Inventory v. 5 desarrollado por la UNFCCC.

El procedimiento seguido fue el Método Sectorial, el cual aborda el cálculo de las emisiones a partir del contenido de carbono de los combustibles suministrados a las principales actividades de combustión (categorías de fuente o subsectores). Se calculan las emisiones para los diferentes combustibles y para cada una de las principales categorías de la metodología propuesta por el IPCC. Aquí se excluyen diversos factores no controlados como son derrames, fugas, residuos, usos no energéticos no especificados, entre otros.

Para el cálculo, se parte del consumo de cada combustible en los siguientes sectores: Industrias de la energía, industrias manufactureras y construcción, transporte, residencial, comercial/institucional, y agricultura/silvicultura/pesca.

Los datos necesarios para estimar las emisiones de  $CO_2$ , según requerimientos de la metodología del IPCC son los siguientes:

1. Consumo aparente de energía de cada uno de los tipos de combustible por sectores.
2. Coeficiente promedio de emisión de carbón de cada combustible y carbón total potencialmente emitido por el uso del combustible.
3. Cantidad de carbón no oxidada durante la combustión.

El cálculo de las emisiones de carbono energético ('C') se obtiene realizando los siguientes pasos.

Paso 1

Se estima el contenido de carbón de cada uno de los combustibles consumidos empleando el factor de emisión,  $F_{emi}$  [Mg de 'C' por TJ, Mg C/TJ], y el consumo aparente de cada combustible ( $CA_i$ ), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C = \sum_{i=1}^n F_{emi} \times CA_i.$$

Los factores de emisión de los combustibles empleados en el sector energético mexicano se presentan en la tabla 2. Asimismo, el consumo de combustible para cada sector se presenta desglosado en la tabla 3.

Paso 2

Para obtener las emisiones reales de carbono se debe multiplicar la fracción de carbono no oxidado ( $f_{c-no}$ ) por las emisiones netas de carbono. Cuando esta información no está disponible a nivel local, como es el caso de México, se toman los valores típicos mundiales, los cuales oscilan entre 0.98 y 0.99.

Tabla 2. Factores de emisión de los combustibles empleados en el sector energético mexicano

Combustible	$F_{em}$ [tC / TJ]
Gas natural	15.3
Coque	27.5
Queroseno	19.5
Combustóleo	21.1
Diesel	20.2
Carbón	26.2
GLP	17.2
Biomasa sólida	29.9
Gasolina	18.9

Tabla 3. Consumo de combustibles por el sector energético mexicano en 2005

Combustible	Consumo de energía por Sector [TJ]					
	Energía	Transporte	Construcción	Comercial	Residencial	Agricultura
Gas natural	632,002	675	402,535	7,169	30,144	0
GLP	0	58,193	34,793	57,453	272,171	8,050
Gasolina	0	1,195,013	0	0	0	0
Diesel	13,741	489,687	40,508	3,460	0	85,382
Combustóleo	624,553	4,129	138,761	0	0	0
Queroseno	0	11,829	33	0	1,477	0
Coque	0	0	108,183	0	0	0
Carbón	327,454	0	732,88	0	0	0
Biomasa sólida	0	0	0	0	247,216	0
TOTAL	1,597,750.00	1,759,526.00	798,101.00	68,082.00	551,008.00	93,432.00

## Paso 3

Se convierten las emisiones de 'C' a emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante la quema de combustibles, esto se hace multiplicando las emisiones reales de carbono por el factor 44/12, obtenido de un balance de masa simple. La suma de las emisiones de CO<sub>2</sub> representan el total de emisiones provenientes de la quema de combustibles del sector energético.

## Paso 4

Cálculo de las emisiones de gases distintos del CO<sub>2</sub> procedentes de las fuentes de combustión. A diferencia del CO<sub>2</sub>, los cálculos de las emisiones de CH<sub>4</sub>, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM's) requieren de una información detallada del proceso.

El cálculo preciso de sus emisiones depende del conocimiento de varios factores relacionados, que incluyen las condiciones de la combustión, el tamaño y antigüedad del equipo, el régimen de mantenimiento y funcionamiento, controles de emisión, y características del combustible. Los métodos se deben aplicar a un nivel detallado de actividad/tecnología de manera que se tomen en cuenta estos factores en la medida de lo posible.

Para el cálculo de las emisiones de los gases diferentes del CO<sub>2</sub>, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Emisiones = \sum_{i=1}^n Fem_{abc} \times CA_i$$

$$Emisiones = \sum (Fem_{abc} \times \text{Consumo de combustible}_{abc})$$

Donde:

a = tipo de combustible.

b = actividad sectorial.

c = tipo de tecnología.

Un ejemplo para el CH<sub>4</sub> de los diferentes valores que toma el factor de emisión se presenta en la tabla 4.

Algunas de las consideraciones que se hicieron para efectuar los cálculos se enlistan a continuación.

- Para el caso del Sector de la Industria de la Energía se tomó en cuenta el balance para la cantidad de combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica por parte de la CFE y LFC.
- Para el caso del Sector de la Industria Manufacturera y Construcción se consideró el balance de energía del sector industrial.

Tabla 4. Factores de emisión por omisión (no controlados) para el CH<sub>4</sub> (en kg/TJ)

Factores de emisión por omisión (sin control) para el CH <sub>4</sub> (en kg/TJ)							
	Carbón	Gas natural	Petróleo	Madera/ Residuos de madera	Carbón vegetal	Otra biomasa y residuos	
Industrias de la energía	1	1	3	30	200	30	
Industrias manufactureras y de la construcción	10	5	2	30	200	30	
Aviación			0.5				
Por carretera		50	Gasolina - Diesel				
Transporte			20	5			
Ferrocarriles	10		5				
Navegación	10		5				
Comercial/Institucional	10	5	10	300	200	300	
Residencial	300	5	10	300	200	300	
Otros Sectores							
Agricultura/ Silvicultura/ Pesca	Fuentes estacionales	300	5	10	300	200	300
	Fuentes móviles		5	5			

- Para el sector agricultura/silvicultura/pesca, sólo se cuenta con la información del sector agropecuario.

## Resultados y discusión

Considerando la segregación por sectores de consumo energético y aplicando las consideraciones estequiométricas de los factores de emisión y el PCT, se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 5 y figura 1. En esta tabla, la presencia de CH<sub>4</sub> se debe básicamente a las fugas en el transporte y manipulación de los combustibles; la presencia de Monóxido de Carbono (CO) se debe a una combustión incompleta e ineficiente de los combustibles, siendo la biomasa (leña y bagazo de caña, principalmente) el combustible que más CO aporta.

Los sectores que más GEI's producen, son el sector transporte y el de la industria de energía con aproximadamente el 41 y 33% (3/4 partes del total de las emisiones del sector energético del país), respectivamente. Cabe destacar que estos valores son similares a los estimados en el documento denominado "Estrategia Nacional de Cambio Climático" (CICC, 2007).

En el sector transporte se consumen cerca del 35% de los combustibles para uso y transformación de energía, siendo los principales gasolina y diesel.

Debido a lo anterior, se presenta una gran oportunidad en este sector para realizar acciones de mitigación, ya sea desarrollando motores más eficientes que proporcionen mayor kilometraje por consumo de combustible, o bien, mediante la promoción de cambio de combustible. En el último caso, se puede incrementar el uso de GNL para transporte de camiones pesados, o bien, desarrollar la tecnología e infraestructura requerida para el empleo de biocombustibles (menos emisiones globales de CO<sub>2eq</sub>), tales como bioetanol o biodiesel.

Asimismo, es importante destacar que este sector presenta uno de los crecimientos más importantes de la economía nacional, ya que en los últimos años se ha observado un crecimiento en el parque vehicular cercano al 6.4% anual. Además, es importante recordar que conforme más antiguo son los automóviles o camiones, ambos tienden a aumentar sus emisiones de GEI's, por lo que otra alternativa de mitigación sería establecer políticas que permitan una renovación constante del parque vehicular, o bien, fomentar el uso del transporte público mediante campañas promocionales en los medios masivos de comunicación.

Por otra parte, la industria de la transformación de energía puede mejorar considerablemente las condiciones ambientales mediante las siguientes opciones:

- Consumir combustibles más limpios, por ejemplo, gas natural en lugar de residuos pesados de petróleo (combustóleo);
- Promocionar la tecnología de gasificación integrada al ciclo combinado;
- Usar residuos pesados con menos elementos contaminantes tales como azufre, nitrógeno, metales pesados, residuos carboníferos de alto punto de fusión etc.;
- Usar biomasa, tal y como el bagazo de caña, en procesos de cogeneración de energía;
- Aumentar la eficiencia de la transformación térmica – electricidad, ya que en la actualidad el mejor sistema tiene como máxima eficiencia de transformación del 50%.

El sector residencial y público tiene un volumen global de emisiones del 6 – 10%, que aparenta no ser muy significativo en el contexto global de consumo de energía; sin embargo, impacta en los resultados por el gran número de operaciones de combustión que se realizan en estufas, calentadores y/o enfriadores de agua y aire. Por lógica simple, si se incrementa el número de operaciones, aumenta el riesgo de fugas y el uso de diferentes tipos, forma y antigüedad de equipos de combustión, con lo cual disminuye la eficiencia de la transformación de energía (generalmente mala combustión). Además, es importante señalar que el sector residencial complementa su consumo energético al usar más del 50% de la energía transformada (electricidad), aunque en el consumo final se considera una energía limpia en su transformación (combustibles a energía eléctrica) hay una baja eficiencia y una aportación importante de GEI's al balance global del país. Este sector puede aportar considerablemente a la mitigación de emisiones de GEI's, manteniendo en óptimas condiciones sus sistemas de combustión y uso de energía (estufas, calentadores y equipos electrodomésticos); cambiar sus hábitos de consumo de energía; por ejemplo, utilizar sólo la energía necesaria, o bien, siguiendo las recomendaciones emitidas frecuentemente por los programas de ahorro de energía, en donde se incluyen modernización de equipo y costumbres de uso.

En cuanto a las emisiones generadas por la combustión de la biomasa, existe una discusión semántica de si deben o no considerarse estos cálculos en el reporte de inventario de emisiones de GEI's, ya que el carbono emitido durante la combustión de la biomasa había sido previamente absorbido por la planta durante su crecimiento a través del proceso natural de la fotosíntesis (Styles y Jones, 2008; Kumar *et al.*, 2008; Gustavsson *et al.*, 2007).

Finalmente, haciendo un comparativo de emisiones de GEI's per cápita México (2005) – EUA (2004) (aún siendo de años diferentes), nos permite ilustrar la diferencia emisiones de GEI's de los países o Partes. Las emisiones de GEI's por el sector energético de México son aproximadamente 4 Mg anuales de CO<sub>2</sub> por individuo. Lo cual da una emisión per cápita de 1.09 Mg de 'C'. Esto cumple con la regla heurística para un país en desarrollo, de que se emiten cerca de 1 Mg anual de 'C' por individuo.

En cambio, en los países industrializados, las emisiones per cápita son mucho mayores, ya que al comparar los valores de emisiones globales de CO<sub>2eq</sub> (643 Tg) que se produjeron en México en 2002 con las producidas en los Estados Unidos de Norteamérica el año 2004 (5,988.0 Tg) (Environmental Protection Agency, 2005), se puede observar que las emisiones en EUA son 9.31 mayores. Si la cantidad de población en EUA es solo 4 veces mayor, entonces un ciudadano de EUA produce 2.33 veces más GEI's que uno mexicano.

Tabla 5. Emisiones de GEI's por los diferentes sectores del sector energético mexicano en 2005

Sectores	Emisiones [Gg] 2005					
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	COVDM's
Industria de Energía	105,637.80	2.87	0.52	193.04	19.19	4.80
Industria Manufacturera y Construcción	55,847.11	6.40	0.74	156.86	427.70	10.11
Transporte	129,797.99	26.41	1.24	1179.23	10081.04	1901.41
Comercial/Institucional	4,259.13	0.64	0.04	6.45	1.58	0.34
Sector Residencial	18,866.27	151.22	2.14	78.32	2479.14	298.18
Agricultura, Forestación y Pesca	6768.77	0.47	0.06	112.17	93.47	18.69
Total	321,177.07	188.01	4.74	1726.06	13102.12	2233.53

Total CO<sub>2,eq</sub> = 442,475.18 Gg

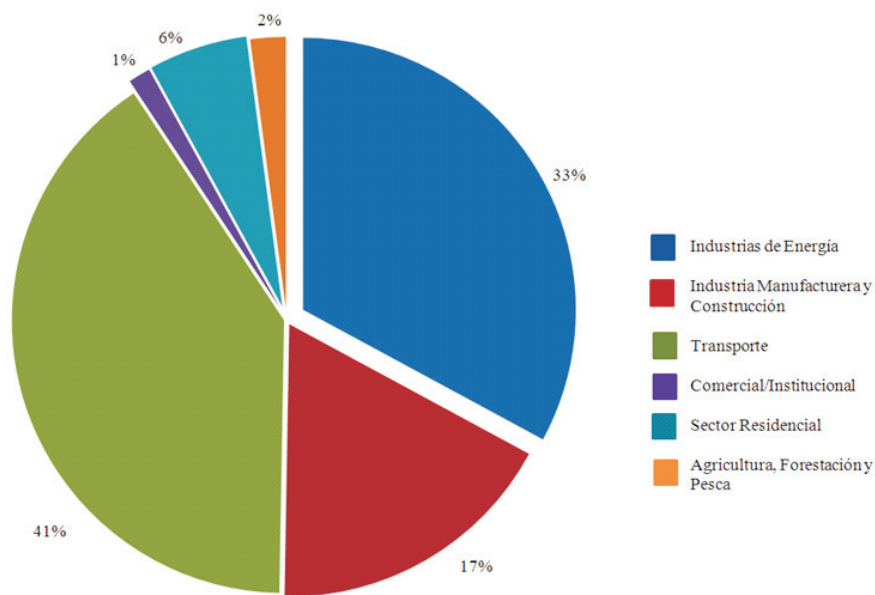


Figura 1. Distribución por sector de las emisiones de GEI's en 2005 del sector energético mexicano

## Conclusiones y recomendaciones

A través del presente estudio se ha demostrado que el sector transporte y de la industria de energía (básicamente para la generación de electricidad) aportan cerca del 75% de las emisiones nacionales de GEI's en México atribuido a la quema de combustibles fósiles.

En el sector transporte, el consumo mayoritario de gasolina y diesel proporciona un amplio campo de trabajo en la reducción de emisiones de GEI's, que pueden venir de una mayor eficiencia (motores más nuevos) en los combustibles mencionados o de la alternativa de usar gas natural (mayor eficiencia de combustión) y/o el uso de combustibles alternativos (biocombustibles).

Asimismo, la industria de la transformación de energía tiene un campo de acción muy amplio, ya que la máxima eficiencia práctica es de 50%. Por lo que cualquier mejora que se logre en este sentido redundara en una disminución importante de emisiones de GEI's.

El sector residencial y público aporta el 10 % de las emisiones de GEI's, pero tiene un campo de acción muy importante en donde se pueden obtener reducción de emisiones cuidando los sistemas de combustión que tiene presentes (estufas, boilers, etc.) y ahorrando en el consumo de electricidad aprovechando los diversos programas de eficiencia energética promovidos por el gobierno federal.

La diferencia en emisiones per capita de GEI's, entre un país desarrollado y un País en desarrollo, es alrededor de un 150% mayor en el país desarrollado. Esto se debe a que tiene más consumo de energía (muchas veces innecesaria) con similar o menor eficiencia que en los países.

## Referencias

- CICC. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático*. SEMARNAT. México. 2007.
- Environmental Protection Agency. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2003*. EPA 430-R-05-003. 2005.
- Gustavsson L., Holmberg J., Dornburg V., Sathre R., Eggers T., Mahapatra K., Marland G. Using Biomass for Climate Change Mitigation and Oil Use Reduction. *Energy Policy*, 35 (11):5671-5691. 2007.
- Kumar A., Flynn P., Sokhansanj S. Biopower Generation from Mountain Pine Infested Wood in Canada: An Economical Opportunity for Greenhouse Gas Mitigation. *Renewable Energy*, 33(6):1354-1363. 2008.
- Naciones Unidas. *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. 1992.
- Naciones Unidas. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. 1998.
- Penman J., Kruger D., Galbally I. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [en línea]. 2000. [Consultada el 31 de marzo de 2008]. Disponible en:
- [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpg\\_aum\\_es.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpg_aum_es.htm).
- Secretaría de Energía. *Balance Nacional de Energía 2005*. 2006.
- Styles D., Jones M.B. Life-Cycle Environmental and Economic Impacts of Energy-Crop Fuel-Chains: An Integrated Assessment of Potential GHG Avoidance in Ireland. *Environmental Science & Policy*, 11(4):294-306. 2008.



---

#### **Semblanza de los autores**

*Roberto Flores-Velázquez.* Ingeniero químico industrial egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrial Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en 1995. Obtuvo el grado de maestro en ciencias con especialidad en ingeniería química por parte de la ESIQIE del IPN en 1998, y el grado de doctor en ciencias en ingeniería química por la Universidad de Texas A&M en 2003. Ingresó al IIE como investigador en la gerencia de materiales y procesos químicos en 2003.

*Ramón Muñoz Ledo-Carranza.* Ingeniero y maestro en metalurgia por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Doctor en ciencias químicas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es investigador del IIE desde 1982 y ha sido profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Coordinó el desarrollo de los inventarios de gases con efecto invernadero (GEI) en 1990 y 1991. Asimismo, participó en los inventarios de 1988 a 1995 realizando los cálculos de GEI por consumo de energía. En este mismo tema ha participado en diversos estudios nacionales, talleres y congresos internacionales, apoyado por la SEDUE, la ONU, la EPA y el IFC.

*Daniel Villalba-Valle.* Ingeniero químico egresado de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos en 2007. Realizó su tesis de licenciatura con el trabajo titulado Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Consumo de Energía en México 1998-2005.