

Inventario Nacional de Emisiones
de Gases de Efecto Invernadero

ENERGÍA. SECTOR TRANSPORTE 2000 – 2001

Fecha: Noviembre, 2003

Preparado por: M.C. Luis Díaz Gutiérrez, M.C. Jorge
Gasca Ramírez, Instituto Mexicano del Petróleo

Preparado para: Instituto Nacional de Ecología



Resumen

El consumo de energía del sector transporte mexicano aumentó el 25% en el periodo 1990-2001.

El mayor aumento, del 77%, se tuvo en la navegación marítima nacional, en tanto que en la aviación nacional el aumento fue del 53 % y en el autotransporte el incremento fue del 24%. En el transporte por ferrocarril el consumo disminuyó un 22%.

Los combustibles que se utilizaron fueron la gasolina y el diesel para el autotransporte, el queroseno para la aviación, el diesel y el combustóleo para la navegación marítima y el diesel en el ferrocarril. Se estima que en 2001 el consumo de energía para el transporte internacional representó el 15% del consumo total en los sectores aéreo y marítimo. Dentro del transporte internacional el combustible que se utilizó mayoritariamente fue el queroseno para la aviación.

Las emisiones de dióxido de carbono fueron calculadas por el método sectorial para cada tipo de combustible consumido en el sector transporte, tanto para el caso del transporte nacional como el internacional. Para el caso de las emisiones de gases diferentes al dióxido de carbono se utilizó la metodología de primer nivel para los sectores ferroviario, y marítimo y una metodología de segundo nivel para los sectores de la aviación y del autotransporte. Para calcular las emisiones del autotransporte se utilizó una metodología con factores de emisión base-combustible, en la cual se utiliza un factor de emisión ponderado para todo el parque vehicular que se multiplica por las ventas nacionales de combustible. En el caso de la aviación se estimaron los factores de emisión de una flota representativa de las principales líneas aéreas mexicanas en operaciones tanto nacionales como internacionales. Se utilizó la hoja de cálculo del IPCC para los cálculos de nivel 1 para todos los gases, excepto para el caso del dióxido de azufre. Así mismo se utilizó esta hoja de cálculo para estimar las emisiones de la aviación por el método de nivel 2. Para el caso de las emisiones de dióxido de azufre fue necesario desagregar el consumo del sector por tipo de combustible, dada la diferencia en el contenido de azufre de los combustibles consumidos en México en el periodo 1990-2001.

Las emisiones totales de dióxido de carbono del sector transporte fueron de 106,206 Gg en 2001, lo que representó un aumento del 21% con respecto a 1990. Desde luego, este aumento está relacionado directamente con el aumento en el consumo de energía en este periodo. Las emisiones de metano en 2001, para este sector, fueron de 26 Gg, lo que representa una disminución del 29% con respecto a 1990. Por su parte, las emisiones de óxido nitroso fueron de 8 Gg, un 260% superiores a las de 1990. Este aumento está relacionado con la introducción de convertidores catalíticos en los automóviles particulares a partir de 1991. Para el caso del transporte internacional, las emisiones de dióxido de carbono en 2001 fueron de 1671 Gg, lo que representa un aumento del 64% con respecto a 1990, las correspondientes al metano sufrieron una reducción del 69% y las de óxido nitroso aumentaron un 71%, aunque estas dos últimas emisiones son inferiores a 1 Gg.

Tabla de Contenido

<i>Resumen</i>	2
<i>Tabla de Contenido</i>	3
<i>Glosario</i>	4
1 <i>Introducción</i>	5
2 <i>Generalidades</i>	6
3 <i>Método</i>	7
3.1 <i>Emisiones de dióxido de carbono del sector transporte</i>	7
3.2 <i>Emisiones de gases de efecto invernadero adicionales al dióxido de carbono</i>	7
3.3 <i>Emisiones de dióxido de azufre</i>	7
3.4 <i>Emisiones del transporte aéreo</i>	8
3.5 <i>Emisiones del autotransporte</i>	11
4 <i>Resultados</i>	16
5 <i>Discusión</i>	20
6 <i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	21
<i>Recomendaciones</i>	21
<i>Referencias</i>	22
<i>Apéndice A</i>	24
<i>Apéndice B</i>	34
<i>Apéndice C</i>	37

Glosario

CAR/SAM-TFG)	Grupo de estimación de tráfico aéreo de la región Caribe Sudamérica. Caribbean/South American Region Traffic Forecasting Group (CAR/SAM-TFG).
Factor de emisión.	El factor de emisión es la cantidad de emisiones que se tiene por nivel de actividad unitario
FCCC	Convención Marco sobre Cambio Climático.
Gg	10 ⁹ gramos
ICAO	Organización Internacional de Aeronáutica Civil.
IEA	Agencia Internacional de Energía.
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
Método de nivel 1.	Tier 1 en inglés. Es un método que utiliza la menor información que se tiene disponible para la estimación de emisiones.
Método de nivel 2	Tier 2 en inglés. Es un método que descompone un proceso o actividad económica en sus etapas esenciales para estimar en cada una de ellas las emisiones. Por ejemplo, para el cálculo de las emisiones de la aviación, esta actividad se descompone en dos partes principales, a saber: los ciclos de despegue y aterrizaje, por una parte, y los vuelos en condiciones de crucero por la otra.
Nivel de actividad.	Es un indicador de la intensidad con la que se efectúa una cierta actividad económica. Por ejemplo, para el caso de las emisiones de dióxido de nitrógeno es el consumo de energía en un cierto sector.
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
Peta Joules (PJ)	10 ¹⁵ Joules
Tera Joules (TJ)	10 ¹² Joules
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

1 Introducción

El sector transporte es una de las fuentes más importantes de gases de efecto invernadero a escala mundial. La Convención Marco en Cambio Climático (FCCC por sus siglas en inglés) reportó que en 1995 el 26.8% de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono provienen del transporte, si se excluyen las emisiones por el cambio de uso de suelo y las provenientes del sector forestal (FCCC, 1998). En el inventario 1990 de gases con efecto invernadero para México, se estimó que el sector transporte contribuyó con 94, 460 Gg de dióxido de carbono. Esto representó el 24% del total de las emisiones incluyendo las emisiones por cambio de uso de suelo y las emisiones del sector forestal (Gay, C.; Martínez, J., Ruiz, L.G., 1995). Otra de las características de las emisiones del sector transporte a escala mundial es su tendencia a aumentar. De los 35 países que se incluyen en el análisis efectuado por la Convención Marco sólo 5 reportaron una reducción en sus emisiones de dióxido de carbono de este sector (FCC, 1998).

Obviamente, las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte son consecuencia del uso de combustibles fósiles. En México, la tendencia en el consumo de energéticos en el sector transporte es claramente alcista. El Balance Nacional de Energía muestra que entre 1990 y 2001 el consumo de energía se incrementó un 25% (Secretaría de Energía, 2002). En el Balance Nacional de Energía el sector transporte está dividido en cuatro grandes rubros, a saber: el transporte aéreo, el autotransporte o carretero, el naval y el transporte por ferrocarril. De éstos el mayor consumo de energía lo tiene el autotransporte y el crecimiento más dinámico en el consumo de combustibles se tiene en el transporte marítimo, en cuál durante el periodo 1998-2001 las necesidades de combustible crecieron más del 50%.

Además de contribuir con emisiones de gases con efecto invernadero, los vehículos utilizados en el sector transporte emiten gases que son contaminantes locales o regionales. De hecho, algunos gases con efecto invernadero son contaminantes de este tipo, a saber: el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Algunos gases emitidos por los vehículos reaccionan en la atmósfera para formar contaminantes locales como el ozono, cuyos precursores son los compuestos orgánicos volátiles sin contar al metano y los óxidos de nitrógeno. Estos últimos, junto con el dióxido de azufre y los compuestos orgánicos también son precursores de partículas suspendidas secundarias. Obviamente, muchas de las partículas primarias son emitidas en las actividades propias del sector transporte. El hecho de que algunos gases tengan efecto local, regional y global ocasiona que las estrategias de control de la contaminación en esas tres escalas tengan interacciones. En México, la mayoría de las estrategias de control que se han implantado tratan de resolver problemas de contaminación local. Sin embargo, estas estrategias han modificado tanto las especificaciones de los combustibles utilizados en el sector transporte como la cantidad de gases con efecto invernadero que emiten los vehículos. El autotransporte que circula por las carreteras nacionales está constituido tanto por vehículos sin ningún control de emisiones como con vehículos con controles. Además, la proporción de vehículos sin control disminuye cada año. Por lo tanto, la mayoría de los combustibles utilizados en el sector transporte han cambiado de especificaciones en el periodo 1990-2001. Por su parte, el transporte aéreo ha mostrado un crecimiento importante en sus actividades en el mismo período con el consiguiente aumento del 55% en el consumo de turbosina.

Dado el dinamismo del sector transporte y su estructura relativamente complicada, es necesario utilizar varios métodos para la estimación de las emisiones de los gases con efecto invernadero, métodos con diferentes niveles de complicación. Desde luego, para la aplicación de estos métodos es necesario contar con información específica del sector transporte. De hecho, la mayor área de oportunidad para hacer más preciso el inventario de emisiones del sector transporte está en los sistemas de información de este sector, prioritario para la economía del país.

2 Generalidades

El 71% de los 1427 Peta Joules (PJ) que se consumieron en el autotransporte en 2001 fueron proporcionados por gasolina (Secretaría de Energía, 2003). La gasolina tipo regular sin plomo (PEMEX-Magna) aportó el 62% y la gasolina Premium casi el 10%. Sólo se consumió un tipo de diesel, con 0.05% de azufre, que aportó el 25% de la energía y, por su parte, el gas licuado tuvo una participación pequeña, del 3%, en tanto que se utilizaron 0.5 PJ de gas natural, con una contribución marginal de menos del 0.05%. En 1990 se consumieron 1147 PJ y los combustibles que se utilizaron eran muy diferentes. En ese año, el 64% de la energía necesaria para el autotransporte lo proporcionó la gasolina con plomo, en tanto que la gasolina regular sólo aportó el 9% (Secretaría de Energía, 2002 y 2003). Se consumieron dos tipos de diesel, con 1 y 0.5% de azufre respectivamente, los que aportaron el 26% de la energía. El gas licuado proporcionó, a su vez, menos del 2%. Si bien las especificaciones de los combustibles cambiaron considerablemente la estructura del consumo se mantuvo, pues la gasolina aportó alrededor del 73% y el diesel el 26% en todo el período 1990-2001 (Secretaría de Energía, 2002 y 2003). El cambio en las especificaciones de las gasolinas se hizo simultáneo con la introducción de los controles de emisión en los automóviles, principalmente con la introducción de convertidores catalíticos.

En el transporte aéreo nacional, el queroseno proporcionó el 98% de los 73.5 PJ que se consumieron en 1990. Ya en 2001, de los 114 PJ que se utilizaron en los aviones, el queroseno contribuyó con el 99%. La gasolina de aviación proporcionó en promedio el 2% de la energía utilizada en la aviación en el período 1990-2001 (Secretaría de Energía, 2002 y 2003). El transporte aéreo internacional utilizó solamente queroseno, tanto en 1990 que consumió 13 PJ, como en 2001 que utilizó 21 PJ.

En el período 1990-2001, la distribución del consumo por tipo de combustible cambió de manera importante en el transporte marítimo nacional. En 1990 se consumieron 25 PJ y el combustóleo aportó el 81%, en tanto que el diesel contribuyó con sólo el 19%. Para 2001 se consumieron 45 PJ pero, a diferencia de 1990, el diesel marino aportó el 82%, en tanto que el combustóleo sólo contribuyó con el 12%. El transporte marítimo internacional utilizó 1.23 PJ en 1990, de los cuales el 81% fueron aportados por combustóleo y el resto por diesel. En 2001 los buques internacionales utilizaron 2.2 PJ, de los cuales el 82% fueron proporcionados por el diesel marino y sólo el 12% los proporcionó el combustóleo (Secretaría de Energía, 2002 y 2003).

El consumo de energía en el transporte ferroviario disminuyó de los casi 27 PJ usados en 1990 a los un poco más de 21 PJ consumidos en 2001. Si bien en 1990 el diesel utilizado fue de alto contenido de azufre (1%), en 2001 se usó un diesel con sólo 0.05% de azufre. En 1993 el diesel consumido tenía un 0.5% de azufre (Secretaría de Energía, 2000).

3 Método

El método general de estimar las emisiones del sector transporte es la multiplicación de un factor de emisión por un nivel de actividad. El factor de emisión es la cantidad de emisiones que se tiene por nivel de actividad unitario. El nivel de actividad es el indicador de la intensidad con la que se efectúa una cierta actividad económica. Para el caso de las emisiones de dióxido de carbono el nivel de actividad es el consumo de energía anual expresado en Tera Joules (TJ). El factor de emisión será pues la emisión por TJ y dependerá del contenido de carbón del combustible y del grado de oxidación que se logre en el equipo de combustión.

3.1 Emisiones de dióxido de carbono del sector transporte.

Las emisiones de dióxido de carbono fueron calculadas para el sector transporte por la aproximación sectorial de la hoja de cálculo del IPCC para cada tipo de combustible consumido en este sector. Se utilizó la hoja de cálculo del IPCC para efectuar esta estimación (IPCC, 1997). Se tomaron los factores de emisión de la tabla 1.4 del manual de referencia del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996c). Para el gas licuado, se calculó un factor de emisión de 16.7 toneladas de carbón por TJ con base en la composición del gas licuado consumido en México. Los factores de oxidación se tomaron de la tabla 1.6 del manual de referencia del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996c). Los consumos de energía del transporte aéreo internacional fueron proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes lo mismo que los consumos del transporte marítimo internacional (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2000).

Para los sectores del autotransporte y el aéreo las emisiones de dióxido de carbono se calcularon con una aproximación de nivel 2 como se explica en las secciones 3.4 y 3.5.

3.2 Emisiones de gases de efecto invernadero adicionales al dióxido de carbono.

Los otros gases de efecto invernadero son metano, óxido nitroso, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano. Para estimar las emisiones de estos gases se utilizó el método de nivel 1 (Tier 1) para el transporte marítimo y ferroviario. También se usó la hoja de cálculo del IPCC para efectuar esta estimación (IPCC, 1997). Los factores de emisión se tomaron de las tablas de la 1.7 a la 1.11 del manual de referencia del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996c).

3.3 Emisiones de dióxido de azufre.

Las emisiones de dióxido de azufre se estimaron por el método de nivel 1 para todo el sector transporte. Debido a que los combustibles consumidos en este sector tuvieron contenidos de azufre diferentes a través del tiempo y debido a que inclusive en un mismo año hay diferencias regionales en el contenido de azufre para un combustible dado (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2000), no fue posible utilizar la hoja de cálculo del IPCC para efectuar esta estimación. Sin embargo, la hoja de cálculo del IPCC se usó para calcular los factores de emisión de dióxido de azufre a partir del contenido de azufre de los combustibles consumidos en este sector y de su poder calorífico neto (IPCC, 1997). Los factores de emisión se muestran en la tabla 3.3. 1.

Tabla 3.3.1. Factores de emisión de dióxido de azufre.

Combustible	Factor de emisión kg SO ₂ /TJ
Combustóleo	1834.02
Diesel Nacional	457.98
Diesel Desulfurado	228.99
Diesel SIN	22.90
Gasolina Nova	67.39
GasolinaPEMEX-Magna Resto País	44.92
GasolinaPEMEX-Magna Zonas Metropolitanas	22.46
Gas Licuado	5.92

Las emisiones se calcularon utilizando los factores de emisión de la tabla 3.3. 1 y los consumos, de expresados en TJ, de cada tipo específico de combustible.

3.4 Emisiones del transporte aéreo.

Las emisiones de los gases con efecto invernadero del transporte aéreo se calcularon por el método del nivel 2 (Tier 2) del manual de referencia del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996c). En este método, para el cálculo de las emisiones, las operaciones aéreas se dividen en dos partes, una parte la constituyen los ciclos de despegue y aterrizaje (LTO) y otra la conforman la continuación de los vuelos en condiciones crucero. Además, es necesario conocer el consumo de combustible en vuelos internacionales y en vuelos nacionales, dado que es necesario reportar por separado las emisiones de los vuelos nacionales de los internacionales. Por último, se debe cumplir la condición de que el combustible mayoritariamente consumido en el transporte aéreo sea queroseno.

La distribución de ciclos LTO por aeronave se estableció con base en dos fuentes de información, a saber: un reporte del grupo de estimación de tráfico aéreo de la región Caribe/Sudamérica (CAR/SAM-TFG) de la organización internacional de aeronáutica civil (ICAO, por sus siglas en inglés) y dos reportes estadísticos, Digest 2000 y 2001 de la misma organización. El grupo CAR/SAM-TFG se reunió del 3 al 7 de agosto de 1998 en Santiago de Chile. Como parte del reporte de esta reunión se tiene un análisis de los vuelos que llegaron a la Ciudad de México desde diferentes regiones del mundo. La información estadística DIGEST 2000 y 2001 es un compendio de los reportes de las principales aerolíneas nacionales a la ICAO, en el que se registran tanto el número de sus aeronaves como la cantidad de despegues que éstas efectúan.

Tabla 3. 4. 1. Origen Destino de los vuelos a la Ciudad de México en Noviembre de 1997

Región de origen (ICAO)	Tipo de aeronave (grupo CAR/SAM)											Total por origen	Distribución por origen (%)
	1	2	3	4	5	A300	A310	B747	B757	B767	Otros		
Canadá		23		4	2		1	2	11		2	45	1.86
Europa del Norte								15				15	0.62
Unión Americana	28	598	15	5		5	1	16	133	35	159	995	41.03
Europa del Sur		4			10				1	10		25	1.03
México, Centro América y el Caribe	37	733	11	15	14	6	2	39	165	60	205	1287	53.07
Sudamérica	2	4		5				13	10	17	3	54	2.23
Antillas Menores	1										2	3	0.12
Otros											1	1	0.04
Total por tipo	68	1362	26	29	26	11	4	85	320	122	372	2425	100
Distribución por tipo (%)	2.80	56.16	1.07	1.20	1.07	0.45	0.16	3.51	13.20	5.03	15.34	100	

En la tabla 3.4. 1 se muestra la cantidad de vuelos, por región y por tipo de aeronave, que llegaron o partieron de la Ciudad de México en el mes de noviembre de 1997. Como puede observarse, el 53 % de las operaciones se efectuaron en la región M, propiamente la región que comprende México, Centroamérica y las grandes islas del Caribe. La Unión Americana (región K) es la región fuera del territorio mexicano que aporta la mayor parte de las operaciones internacionales, el 41 % del total, seguida por las operaciones a Sudamérica (S) con un poco más del 2 % y el Canadá (C), con casi el 2 %. Esto quiere decir que el 96% de las operaciones que se efectúan en el aeropuerto de la Ciudad de México tienen su origen en Norteamérica, Centroamérica y las grandes islas del Caribe. Con respecto a la flota utilizada, puede observarse en la tabla que la distribución de vuelos por tipo de aeronave es casi igual para las regiones M y K, es decir el 94% de las operaciones, en tanto que para los vuelos con origen más lejano las aeronaves utilizadas son obviamente las de más largo alcance.

En la tabla 3.4 2 se muestra la clasificación del tipo de aeronave del grupo de trabajo CAR/SAM.

Tabla 3. 4. 2 Clasificación de las aeronaves del grupo CAR/SAM.

Grupo	Tipo de aeronave CAR/SAM
1	DC8H, B707H, IL2H, B707, DC8, DC8F, DC8S, IL62, IL76
2	B727 MD82M, MD83M, MD87M, MD88, MD88M, DC9, DC9M, A320M, IL18M, TU54M, IL96, A320, B737, B73M, B737M, 737M, B73AM, B73BM, B73BN, B737H, B73JM, B73SM, B737S, B737SM, B73A, B73B, B727M, , A320M, A320M, EA32M, EA320M, , A32M, EA32H, EA32, MD80, MD80M, ,
3	F100, F100M, F2100L, RK100
4	DC10, MD11H, DC1 B7470H, L101H, I101H, MD11, KC10,
5	A340, A340H, EA34H, B777, A34D, EA34, EA340
CONC	CONC
B747	B747, B747H, B747BH, B747FH, B747AH, B747BM, B74H, B74A, B74 B74F
B757	B757M, B757BM, B757
B767	B767, B767M, B767
A300	A300H, A300M, EA30H, EA3620M, A300, E A30
A310	A310H, EA31H, A310, EA31

Tabla 3. 4. 3 Distribución de las Operaciones de las Líneas Aéreas Mexicanas en 2000.

Tipo ICAO	Aeronave	Flota, 2000	Distribución por tipo de aeronave (%)	Número de despegues, 2000	Distribución de operaciones 2000(%)
2	DOUGLAS DC-9	16	11.19	35839	16.48
2	DOUGLAS MD-82	15	10.49	28485	13.10
2	DOUGLAS MD-83	9	6.29	17653	8.12
2	DOUGLAS MD-87	6	4.20	8074	3.71
2	DOUGLAS MD-88	10	6.99	20168	9.28
2	BOEING 727	38	26.57	29762	13.69
2	AIRBUS A-319	0	0	0	0
2	AIRBUS A-320	16	11.19	29381	13.51
3	FOKKER 100	12	8.39	6504	2.99
B757	BOEING 757	16	11.19	38595	17.75
B767	BOEING 767	5	3.50	2971	1.37
	Total	143	100.00	217432	100

Tabla 3. 4. 4 Distribución de las Operaciones de las Líneas Aéreas Mexicanas en 2001

Tipo ICAO	Aeronave	Flota, 2001	Distribución por tipo de aeronave	Número de despegues, 2001	Distribución de operaciones, 2001(%)
2	DOUGLAS DC-9	14	10.00	31511	13.53
2	DOUGLAS MD-82	13	9.29	26655	11.45
2	DOUGLAS MD-83	10	7.14	16828	7.23
2	DOUGLAS MD-87	8	5.71	13030	5.60
2	DOUGLAS MD-88	10	7.14	17616	7.57
2	BOEING 727	28	20.00	43222	18.56
2	AIRBUS A-319	1	0.71	39	0.02
2	AIRBUS A-320	23	16.43	32588	14.00
3	FOKKER 100	12	8.57	28766	12.35
B757	BOEING 757	16	11.43	19693	8.46
B767	BOEING 767	5	3.57	2887	1.24
	Total	140	100.00	232835	100.00

Dado que la distribución de operaciones por tipo de aeronave obtenida del estudio de agosto de 1998 de la ICAO necesita desglosarse, sobre todo con respecto a las operaciones de los grupos 2 y “otros” de aeronaves, se tomó la distribución de los despegues por tipo de aeronave reportados al ICAO (Digest 2000 y 2001) de las tres principales líneas aéreas mexicanas (Aeroméxico, Mexicana y Allegro) durante 2000 y 2001. La distribución de operaciones puede observarse en las tablas 3.4.3 y 3.4.4, y es similar a la de la tabla 3.4.1. Las operaciones de grandes aeronaves (desde el tipo 3 hasta el B767), en el estudio del grupo CAR/SAM-TFG suman el 25.7 %, en tanto que en los reportes Digest suman el 22 % para los años 2000 y 2001. Por su parte las operaciones de los grupos 1, 2 y “otros” suman el 74.3 % en el estudio del grupo CAR/SAM-TFG, en tanto que en los reportes Digest las operaciones del grupo 2 suman el 78%. Dada la similitud de la flota para las operaciones nacionales y la mayoría de las internacionales, que como se dijo anteriormente reúnen el 94% de las operaciones totales, se tomó la distribución de las operaciones por tipo de aeronave de la tabla 3.4.3 para 2000 y de la tabla 3.4.4 para 2001, como representativas de la aviación civil mexicana durante esos años, tanto para la operación nacional como la internacional.

La mayoría de los factores de emisión por tipo de aeronave para los ciclos LTO se tomaron de la metodología del IPCC. Para las aeronaves MD-82, MD-83, MD-87, MD-88 y A319 los factores de emisión se completaron utilizando la base de datos de la ICAO (Banco de datos de emisiones ICAO de máquinas utilizadas en aeronaves, http://www.qinetiq.com/aviation_emissions_databank/index.asp). Los aviones MD-82/87/88 utilizan dos máquinas JTBD-217A/C de Pratt and Whitney en tanto que los MD-83 usan dos turbinas JTBD-219 de la misma compañía (Technical characteristics – Boeing serie MD-80, <http://www.boeing.com/commercial/md-80/product.html>). Los aviones A319 utilizan dos máquinas V2500 de Internacional Aero Engines o CFM56 de CFM Internacional (http://www.airbus.com/media/a320_family.asp); se utilizaron los factores de emisión de la turbina CFM56-5A3. Los valores de los factores de emisión para las aeronaves utilizadas por las líneas aéreas, tanto nacionales como internacionales, que operan en México se muestran en la tabla 3.4.5.

Tabla 3. 4. 5. Factores de Emisión de las Aeronaves de la Flota Aérea Mexicana

Tipo de aeronave	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂	Consumo de combustible
	kg/LTO							
DC9	2780	0.8	0.10	7.2	7.3	7.4	0.9	880
MD-82	3185	0.2	0.14	12.0	6.5	1.7	1.0	1008
MD-83	3166	0.2	0.10	12.2	6.5	1.7	1.0	1002
MD-87	3185	0.2	0.14	12.0	6.5	1.7	1.0	1008
MD-88	3185	0.2	0.14	12.0	6.5	1.7	1.0	1008
B727	4455	0.3	0.10	12.6	9.1	3.0	1.4	1410
A319	2565	0.05	0.13	11.0	5.9	0.5	0.8	812
A320	2560	0.04	0.10	11.0	5.3	0.4	0.8	810
F100	2340	0.2	0.10	5.7	13.0	1.2	0.7	740
B757	4110	0.1	0.10	21.6	10.6	0.8	1.3	1300
B767	5405	0.4	0.20	26.7	20.3	3.2	1.7	1710

Con estos valores y la distribución de las operaciones para cada año, tablas 3.4.3 y 3.4.4, se calcularon los factores de emisión promedio para la flota de aviación, tanto nacional como internacional, para los años 2000 y 2001 que se muestran en la tabla 3.4.6.

Tabla 3. 4. 6 Factores de Emisión de de la Flota Aérea Mexicana en 2000 y 2001

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂	Consumo de combustible
	kg/LTO							
Año								
2000	3375.2	0.3	0.1	12.9	7.9	2.5	1.1	1068.1
2001	3278.3	0.3	0.1	11.5	8.2	2.4	1.0	1037.4

Los números de operaciones de la aviación, tanto nacionales como internacionales, se tomaron del Anuario Estadístico 2001 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001). El consumo de turbosina se tomó de La Aviación Mexicana en Cifras (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2002) y los equivalentes energéticos se tomaron de los Balances Nacionales de Energía 2000 y 2001 (Secretaría de

Energía, 2000 y 2001). En la tabla 3.3.7 se muestran las operaciones nacionales e internacionales, así como el número de ciclos LTO y el consumo de combustible en miles de toneladas para ambos tipos de operaciones.

Tabla 3.3.7 Actividad Nacional e Internacional de la Aviación Mexicana en 2000 y 2001

Año	Nacionales			Internacionales		
	Operaciones	Ciclos LTO	Consumo de Queroseno (Gg)	Operaciones	Ciclos LTO	Consumo de Queroseno (Gg)
2000	1,158,188	579,094	2,010	312,825	156,413	542.8
2001	1,188,722	594,361	2,056	276,992	138,496	479.1

Con los consumos de combustible por ciclo LTO reportados en las tablas 3.4.5 y 3.4.6 es posible estimar el consumo de combustible anual por despegues y aterrizajes si se conoce el número total de ciclos LTO en un cierto año; esto se debe hacer tanto en vuelos nacionales como en vuelos internacionales. Posteriormente, se puede estimar el consumo de combustibles en vuelos en condiciones de crucero restando del consumo total el consumo en las operaciones de despegue y aterrizaje. Las emisiones para los ciclos LTO se calcularon utilizando los factores de emisión por ciclo LTO de la flota mexicana, tanto para los vuelos nacionales como internacionales. Las emisiones de los vuelos en condiciones de crucero se calcularon utilizando los factores de emisión por cantidad de combustible consumido multiplicándolo por el consumo estimado para los vuelos de crucero.

3.5 Emisiones del autotransporte.

Metodología para la estimación de factores de emisión e inventario de emisiones base-combustible.

Los inventarios de emisiones base-combustible calculan las emisiones con base en factores de emisión expresados en gramos por litro de combustible. Cuando se conocen las emisiones de un buen número de vehículos representativos del parque vehicular del área donde se desea realizar el inventario, así como las ventas de combustible, la composición del parque vehicular y los rendimientos de combustible promedio de los diversos estratos que lo componen, entonces es factible realizar un inventario de emisiones con el enfoque base-combustible. Esta metodología puede ayudar a reducir la incertidumbre en la predicción de emisiones (Singer y Harley, 1996 y Sajal, S. et. al., 2002).

Utilizar los factores de emisión base-combustible presenta la ventaja de que el consumo de gasolina o diesel se puede determinar con mayor precisión en comparación con el recorrido diario, por lo que las emisiones de estas fuentes pueden estimarse con la frecuencia con que se disponga de dicha información.

La confiabilidad en los inventarios de emisiones base-combustible dependerá del grado de desagregación de los factores de emisión, lo que implica disponer de información confiable sobre la marca, modelo y tipo de vehículo. La actividad vehicular está dada por los consumos de combustible registrados temporalmente. Para determinar la actividad en función del consumo de combustible, para los diversos subgrupos desagregados, es necesario calcular los rendimientos de combustible relativos en los subgrupos y las fracciones de recorrido. Las fracciones de recorrido se pueden determinar en función de las frecuencias observadas al hacer aforos vehiculares o mediante la medición de emisiones con un detector remoto.

Los factores de emisión base-combustible se pueden obtener a partir de pruebas de laboratorio o campo con dinamómetro de piso y ciclos de manejo estandarizados, así también a partir de las mediciones con el detector remoto de emisiones en pruebas de campo.

Debido al limitado número de pruebas donde se reportan factores de emisión base-combustible, aunado al hecho de que las tecnologías y normas por año-modelo no son equivalentes a las de México, para realizar el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de los años 2000 y 2001, se tomaron en cuenta diversas fuentes, entre ellas las emisiones promedio de los automóviles de gasolina que se han probado en el Laboratorio de Investigación en Emisiones Vehiculares del Instituto Mexicano del Petróleo en la ZMVM durante los últimos ocho años, las pruebas de campo con detector remoto en la ZMVM realizadas

en el 2000, así como resultados de pruebas realizadas en Juárez y Aguascalientes con un sistema portátil de emisiones en 1999, considerando que aun cuando las metodologías difieren entre sí, el cálculo permite precisamente conocer las diferencias que hay entre las diversas fuentes, así como la incertidumbre en el inventario.

Las mediciones en pruebas de laboratorio y campo con dinamómetro de piso, bajo procedimientos estandarizados y calculadas primeramente en gramos por kilómetro y posteriormente en gramos por litro al multiplicarlo por el rendimiento de combustible, ofrecen emisiones representativas de todo el espectro de condiciones de operación del vehículo, en comparación con las mediciones instantáneas registradas con el sistema de detección remota. Sin embargo, estas últimas pueden aportar más datos en corto tiempo, así como muestras más representativas de las condiciones reales de uso y mantenimiento de los automotores.

Para el inventario nacional se analizaron los resultados de aproximadamente 2450 pruebas efectuadas en laboratorio, durante el periodo de 1993 al 2001. La base de datos analizada consta de alrededor de 400 automóviles agrupados por año-modelo. Debido al escaso número de datos de vehículos año-modelo 1979 y anteriores, estos se agruparon con los correspondientes al año-modelo 1980. Los resultados corresponden exclusivamente a automóviles de pasajeros; sin embargo, también se analizaron algunos de los datos recabados para vehículos de carga ligeros y medianos, ya que no se dispone de datos suficientes para realizar un desagregado por año modelo.

Las emisiones de metano se obtuvieron a partir de la especiación de las emisiones de hidrocarburos en el escape. Debido al reducido número de resultados, para este contaminante se tomaron los promedios por subgrupos tecnológicos.

Adicionalmente a la información de laboratorio, se utilizaron los resultados de emisiones en pruebas IM-240, obtenidas en campañas de medición realizadas en Aguascalientes y Juárez durante los años de 1999, los cuales podrían servir de referencia para estimar las emisiones de aquellas regiones sin programas de verificación y condiciones distintas a las de la ZMVM. En este caso se dispone de casi 400 mediciones, las cuales fueron realizadas por un consultor extranjero, utilizando un sistema de muestreo, análisis y dinamómetro portátiles. En esta base de datos se dispone de resultados de CO, CO₂, NO_x y HC, el año-modelo del vehículo y el rendimiento de combustible.

Con base en el limitado número de resultados, se puede inferir que los factores de emisión con dichas metodologías podrían estar sesgados por un tipo de vehículo en particular o una condición de mantenimiento; sin embargo, con esta metodología se conocen los intervalos en que es factible encontrar las emisiones de los vehículos, cuando se reportan en gramos por litro.

En el caso de los resultados de las pruebas FTP-75, no es factible estimar los intervalos de confianza para cada año-modelo debido a que la distribución de las emisiones no es normal y el número de datos para varios de ellos es escaso, por lo que solo se considera como una referencia de los niveles promedio que pueden presentar los vehículos en circulación.

Por otra parte, a partir de las mediciones en la ZMVM con el detector remoto, se obtuvieron los factores de emisión normalizados al consumo de combustible. La campaña de muestreo se realizó durante 48 días en 12 puntos que cubrieron las diferentes zonas socioeconómicas y de tránsito de la ZMVM, entre los meses de junio y septiembre del año 2000. En este análisis, buscando estimar los factores de emisión del parque vehicular del país, se desagregaron las mediciones efectuadas en el mayor número de subgrupos posible (automóviles, taxis, pick up, comerciales ligeros, van, utilitarios todo terreno, etc.), con la finalidad de obtener los subgrupos por año-modelo en cada uno de los puntos de muestreo.

Con las bases de datos agrupadas por punto de muestreo se aplicó la metodología de balance de carbono para calcular en cada vehículo su factor de emisión en gramos de contaminante por litro de gasolina. Para estimar los promedios de emisiones y los intervalos de error se tomaron las medias de cada punto de muestreo y se calcularon los intervalos de error, considerando una distribución normal. En esta última opción los intervalos de error para los promedios de emisión representan la dispersión debida a la distribución espacial de los diversos estratos vehiculares que componen la región evaluada, lo cual permite conocer la incertidumbre espacial en los factores de emisión.

El detector remoto de emisiones muestrea automóviles, vehículos comerciales y taxis de diferente año-modelo de acuerdo con la frecuencia con la cual ellos pasan a través del sitio de monitoreo. Para aplicar la metodología base-combustible es necesario calcular los factores de emisión ponderados por consumo de combustible, requiriéndose del rendimiento de combustible relativo para cada clase y año-modelo de los vehículos. Por esta razón, se debe analizar la distribución de los vehículos que se midieron, a partir de las características identificadas con la placa de circulación. Para la estimación del presente inventario, se consideró que la distribución del parque vehicular en el país es similar a la observada en la Zona Metropolitana del Valle de México.

La precisión en la distribución de edades que se utiliza para ponderar los datos de emisiones de cada año-modelo es otra consideración importante en esta metodología. Las unidades de modelos 1979 y anteriores se agruparon con los de 1980, en todos los subgrupos.

Para cada una de las mediciones realizadas con el detector remoto se calcularon los factores de emisión en gramos por litro tomando en cuenta el promedio de las propiedades de la gasolina que se consumió en el país durante el año 2000 y 2001, por ejemplo, para la gasolina Pemex-Magna la fracción en peso de carbón se consideró de 0.866 y la densidad de 732 g/litro. En la hoja de cálculo anexa a este informe se muestran los factores de emisión por año-modelo y subgrupo para las emisiones de CO, hidrocarburos, CO₂ y NO_x.

Es evidente el cambio en las emisiones de los tres contaminantes, como resultado de la aplicación de tecnologías para reducir las emisiones reguladas. Tal es el caso de los vehículos 1991 y 1993, donde se observan descensos significativos de emisiones al incorporarse los primeros sistemas de control de emisiones, así como al generalizarse el uso de los sistemas de inyección de combustible y convertidores catalíticos de tres vías, donde la disminución es todavía más notoria. Es importante observar en todas las metodologías de medición la similitud en la reducción súbita en los niveles de emisión de los vehículos 1991, 1992 y 1993, como se comentó con anterioridad.

En el presente estudio se concede especial atención a los factores de emisión calculados a partir de las mediciones con detector remoto al sustentar su representatividad con el número de vehículos analizados. Sin embargo, resulta evidente la necesidad de comparar los factores aquí estimados con los reportados en laboratorio y campo con pruebas de dinamómetro de chasis, por lo que en la hoja de cálculo se pueden modificar los factores de emisión y los rendimientos de combustible, según sea la condición que se desea evaluar.

Para todos los contaminantes se observa que, los factores de emisión calculados con pruebas de laboratorio, están por debajo de los correspondientes a las pruebas de campo, generalmente a partir de 1991. En principio se observa que, los resultados de laboratorio disponibles hasta ahora no son suficientes para estimar, con una precisión aceptable, el comportamiento de los factores de emisión de la población de vehículos que circulan por el país en todos sus estratos tecnológicos y años-modelo.

En los inventarios de emisión base-combustible, para calcular la emisión total de contaminantes, se utilizan un factor de emisión ponderado para todo el parque vehicular (M), el cual se multiplica por las ventas nacionales de combustible. El procedimiento para obtener los factores de emisión M se describe a continuación.

En esta metodología la fracción de actividad (f_{yv}), se calcula con la Ecuación 1 y se refiere a la frecuencia con que se observa cada subgrupo de vehículos por año-modelo en los aforos vehiculares o al pasar a través del detector remoto de emisiones.

$$f_{yv} = \frac{n_{yv}}{N} \quad (1)$$

y = Año-modelo del subgrupo
 v = Subgrupo de vehículos (automóviles, comerciales ligeros, SUV, etc.)
 f = Fracción de actividad del subgrupo
 n = Número de mediciones del subgrupo
 N = Número total de mediciones

La fracción de combustible utilizada por cada subgrupo de vehículos (r_{yv}) se calcula por medio de la siguiente ecuación, utilizando el rendimiento de combustible promedio R_{yv} y la fracción de actividad f_{yv} .

$$r_{yv} = \frac{(f_{yv} / R_{yv})}{\sum_{v=I_1}^{I_n} \sum_{y=I_1}^{I_n} (f_{yv} / R_{yv})} \quad (2)$$

R_{yv} = Rendimiento de combustible por año-modelo y subgrupo
 $Y_1 \dots Y_n$ = Los diversos años-modelo medidos
 $V_1 \dots V_n$ = Los subgrupos de vehículos medidos
 r_{yv} = Rendimiento de combustible relativo por año-modelo y subgrupo

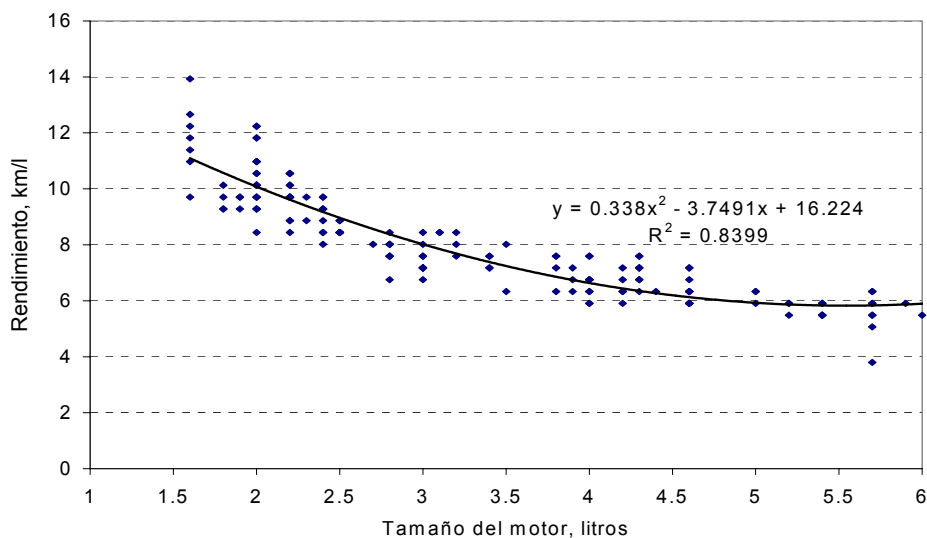
Con la finalidad de obtener un factor de emisión promedio de la flotilla, se considera el rendimiento de combustible relativo (R_{yv}) de cada clase o tipo de vehículo por año-modelo. Esta ponderación es necesaria, en virtud de que los vehículos más viejos y de mayor cilindrada en el motor consumen más gasolina que los vehículos modernos de menor cilindrada.

En este inventario, el rendimiento de combustible se estimó a partir de las mediciones en dinámometro, ya que durante las pruebas de emisiones se obtiene también el rendimiento de combustible en kilómetros por litro para un recorrido de ciudad. A pesar de que no se tienen tendencias significativas sobre la correlación entre el rendimiento de combustible y, la edad del vehículo o el tamaño del motor, en este estudio se optó por utilizar la segunda variable para estimar el rendimiento relativo por año-modelo, para lo cual se desarrolló una metodología de cálculo.

Debido a que los tamaños de motores han variado indistintamente a través de los años, los resultados de diferentes vehículos se relacionaron con su cilindrada para obtener la curva de la Gráfica 1 que muestra la relación promedio del rendimiento con el tamaño del motor. Las diferencias en el rendimiento para el mismo tamaño del motor se deben a la tecnología utilizada en cada caso. El hecho de utilizar un rendimiento relativo no implica grandes variaciones en la ponderación, en virtud de que el rendimiento (R_{yv}) aparece en el numerador y el denominador de la ecuación 2.

El rendimiento de combustible relativo por año-modelo para cada subgrupo de vehículos se obtuvo a partir del tamaño ponderado del motor y la curva promedio de la Gráfica 1. La ponderación del tamaño se realizó con las ventas de automotores registradas en cada año, aprovechando que se dispone de información desagregada de tal forma que, puede correlacionarse el tipo de vehículo con el tamaño del motor. En la hoja de cálculo anexa al presente informe se muestra de manera detallada la secuencia de cálculo y resultados para obtener los rendimientos relativos por año-modelo.

Gráfica 1 Rendimiento promedio de combustible para automotores de gasolina



Finalmente, los factores de emisión promedio para cada subgrupo de vehículos (E_{yv}) se ponderan por la fracción del total de combustible utilizado por cada subgrupo de vehículos (r_{yv}), para obtener el factor de emisión promedio de la flota vehicular (M) para cada contaminante, de acuerdo con la ecuación 3.

$$M = \sum_{v=V_1}^{V_n} \sum_{y=Y_1}^{Y_n} r_{yv} E_{yv} \quad (3)$$

En la tabla 3.5.1 se muestran los factores de emisión promedio para el parque vehicular de gasolina que circula en México calculados con la metodología antes descrita.

Tabla 3.5.1 Factores de Emisión Promedio de los Vehículos a Gasolina en México en 2000 y 2001.

Contaminante	CO	HCT*	NOx	CO ₂	CH ₄
F. E., g/l	117.69	13.75	9.03	2081.70	0.72

*Emisiones por el escape.

Dado que es necesario estimar también las emisiones de óxido nitroso, los factores de emisión por tipo de tecnología de control de emisiones se tomaron de la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbre (IPCC, 2000). Además, se estimaron las emisiones que por evaporación de combustible en los vehículos considerando la relación de emisiones por evaporación con respecto a las de escape, también por tipo de tecnología de control de emisiones, que se tiene en vehículos Europeos de tecnología similar. La relación mencionada resulto de 0.4 para vehículos anteriores a 1993 y de 0.15 para vehículos posteriores a ese año. Los factores de emisión promedio para estos contaminantes del parque vehicular a gasolina mexicano se muestran en la tabla 3.5.2.

Tabla 3.5.2 Factores de Emisión Promedio de los Vehículos a Gasolina en México en 2000 y 2001. (Estimados a partir de información del IPCC).

Contaminante	N ₂ O	NM VOC evaporación	NM VOC escape	NM VOC total
F. E., g/l	0.24	4.34	13	17.4

Finalmente, con base en el consumo promedio diario de gasolinas en el país, reportado por Pemex-Refinación, y que alcanzó los 84.5 y 87.5 millones de litros en los años 2000 y 2001, se calculó el inventario de emisiones para cada contaminante, multiplicando el consumo promedio anual por su correspondiente factor de emisión.

Para el caso de los vehículos que utilizan gas licuado de petróleo como carburantes se estimaron los factores de emisión promedio de un estudio realizado en el Laboratorio de Investigación en Emisiones Vehiculares del Instituto Mexicano del Petróleo (Schifter, I. et.al., 2000), Los valores de los factores de emisión se muestran en la tabla 3.5.3.

Tabla 3.5.3 Factores de Emisión Promedio de los Vehículos a Gas LP en México en 2000 y 2001.

Contaminante	NOx	CH ₄	NMHC	CO	N ₂ O
F. E., kg/TJ	790.8	21.3	516.0	4908.9	ND

Para el caso de los vehículos a diesel y gas natural se utilizaron los factores de emisión de la aproximación nivel 1 del IPCC.

4 Resultados

En la tabla 4.1 se reportan las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte mexicano en 2000.

Tabla 4.1 Emisiones de Gases con Efecto Invernadero del Sector Transporte Mexicano en 2000							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	105,811	25	8	742	4,307	650	69
A Aviación Civil	6,336	0	0	23	14	2	1.25
B Autotransporte	93,911	25	8	612	4,217	633	44.45
C Ferrocarriles	1,626	0	0	27	22	4	0.51
D Navegación	3,938	0	0	80	54	11	23.27
Transporte Internacional	1,913	0	0	10	7	1	2
Aviación	1,711	0	0	6	4	1	0
Navegación	201	0	0	4	3	1	1

En la tabla 4.2 se da el cambio porcentual en las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte entre 1990 y 2000.

Tabla 4.2 Cambio porcentual en las emisiones entre 1990 y 2000.							
(%)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	20.63	-29.96	247.73	23.02	-48.73	-19.39	-69.53
A Aviación Civil	50.90	15.21	52.65	65.51	45.70	4.92	49.76
B Autotransporte	17.76	-30.70	262.86	17.43	-49.44	-20.34	-75.03
C Ferrocarriles	-15.96	-15.96	-15.96	-15.96	-15.96	-15.96	-95.42
D Navegación	114.78	121.63	121.63	121.63	121.63	121.63	-38.75
Transporte Internacional	88	-64	80	100	1	-45	-28
Aviación	85	-72	79	88	-27	-67	85
Navegación	115	122	122	122	122	122	-39

En la tabla 4.3 se muestra la contribución de los diferentes sectores del transporte a las emisiones de los diferentes gases con efecto invernadero.

Tabla 4.3 Contribución por sector a las emisiones por contaminante en 2000.							
(%)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
A Aviación Civil	5.99	0.62	2.56	3.07	0.33	0.37	1.79
B Autotransporte	88.75	97.88	96.86	82.49	97.90	97.29	63.97
C Ferrocarriles	1.54	0.44	0.17	3.62	0.52	0.69	0.74
D Navegación	3.72	1.06	0.41	10.82	1.24	1.65	33.49
Transporte Internacional	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aviación	89.48	75.66	97.10	59.96	58.57	54.35	21.51
Navegación	10.52	24.34	2.90	40.04	41.43	45.65	78.49

En la tabla 4.4 se reportan las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte mexicano en 2001.

Tabla 4.4 Emisiones de Gases con Efecto Invernadero del Sector Transporte Mexicano en 2001							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	106,206	26	8	721	4,422	666	61
A Aviación Civil	6,483	0	0	23	15	3	1.25
B Autotransporte	95,081	26	8	609	4,344	650	44.33
C Ferrocarriles	1,501	0	0	25	21	4	0.47
D Navegación	3,141	0	0	64	43	9	14.91
Transporte Internacional	1,671	0	0	9	6	4	1
Aviación	1,511	0	0	5	3	3	0
Navegación	160	0	0	3	2	0	1

En la tabla 4.5 se da el cambio porcentual en las emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte entre 1990 y 2001.

Tabla 4. 5 Cambio porcentual en las emisiones entre 1990 y 2001.							
(%)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	21.08	-27.96	259.58	19.47	-47.36	-17.45	-73.27
A Aviación Civil	54.40	16.37	57.27	65.05	52.25	39.45	50.83
B Autotransporte	19.23	-28.50	275.69	16.83	-47.92	-18.15	-75.10
C Ferrocarriles	-22.43	-22.43	-22.43	-22.43	-22.43	-22.43	-95.78
D Navegación	71.31	77.24	77.24	77.24	77.24	77.24	-60.76
Transporte Internacional	64	-69	71	67	-13	74	-51
Aviación	63	-75	70	62	-34	74	60
Navegación	71	77	77	77	77	77	-61

En la tabla 4.6 se muestra la contribución de los diferentes sectores del transporte a las emisiones de los diferentes gases con efecto invernadero.

Tabla 4. 6 Contribución por sector a las emisiones por contaminante en 2001.							
(%)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
A Aviación Civil	6.10	0.61	2.55	3.15	0.34	0.48	2.06
B Autotransporte	89.52	98.18	96.98	84.50	98.23	97.61	72.71
C Ferrocarriles	1.41	0.40	0.15	3.44	0.47	0.62	0.78
D Navegación	2.96	0.82	0.31	8.91	0.97	1.29	24.45
Transporte Internacional	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aviación	90.40	77.20	97.55	61.70	61.45	88.59	27.04
Navegación	9.60	22.80	2.45	38.30	38.55	11.41	72.96

En las tablas 4.7 y 4.8 se muestran las emisiones de los gases con efecto invernadero directo del sector transporte en unidades equivalentes de dióxido de carbono para los años 2000 y 2001.

Tabla 4.7 Emisiones de Gases con Efecto Invernadero Directo del Sector Transporte Mexicano en 2000 (Gg equivalentes de CO ₂)				
GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
3 Transporte	105,811.49	533.16	2,459.86	108,804.52
% contribución	97.25	0.49	2.26	100.00
A Aviación Civil	6,336.19	3.31	63.08	6,402.57
% contribución	5.82	0.00	0.06	5.88
B Autotransporte	93,911.04	521.88	2,382.65	96,815.57
% contribución	86.31	0.48	2.19	88.98
C Ferrocarriles	1,626.02	2.35	4.17	1,632.54
% contribución	1.49	0.00	0.00	1.50
D Navegación	3,938.24	5.63	1.00	3,944.87
% contribución	3.62	0.01	0.00	3.63

Tabla 4.8 Emisiones de Gases con Efecto Invernadero Directo del Sector Transporte Mexicano en 2001 (Gg equivalentes de CO ₂)				
GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
3 Transporte	106,206.28	548.46	2,543.68	109,298.43
% contribución	97.17	0.50	2.33	100.00
A Aviación Civil	6,483.18	3.34	64.99	6,551.50
% contribución	5.93	0.00	0.06	5.99
B Autotransporte	95,081.17	538.45	2,466.88	98,086.50
% contribución	86.99	0.49	2.26	89.74
C Ferrocarriles	1,500.79	2.17	3.84	1,506.80
% contribución	1.37	0.00	0.00	1.38
D Navegación	3,141.15	4.50	0.80	3,146.45
% contribución	2.87	0.00	0.00	2.88

5 Discusión

Las emisiones de dióxido de carbono del sector transporte nacional aumentaron un 21% en el periodo de 1990 a 2001 como puede verse en la tabla 4.5. Este aumento fue menor al esperado, debido principalmente a la crisis económica de 1995. El mayor incremento lo tuvo la navegación con un 77%, seguida por la aviación civil con un aumento del 54% y el transporte con un incremento de 19%, mientras que el transporte por ferrocarril disminuyó sus emisiones en casi un 22%. El autotransporte contribuyó en 2001 con el 90% de las emisiones del todo el sector como puede verse en la tabla 4.6, en tanto que la aviación civil contribuyó con el 6%. Los vehículos a gasolina participaron ese año con el 63% en las emisiones de este sector.

Por su parte, las emisiones de dióxido de carbono del sector transporte internacional aumentaron un 64%, debido principalmente al incremento del 71% en la navegación internacional.

Según la tabla 4.5, las emisiones de metano del transporte nacional disminuyeron un 28% en el periodo 1990-2001, debido principalmente a la introducción de convertidores catalíticos en los automóviles a gasolina, pues puede observarse en la tabla 4.6 que el 98% de las emisiones de metano del sector transporte provienen del autotransporte. Por otra parte, las emisiones de metano del transporte internacional disminuyeron un 75%, principalmente por la disminución en las emisiones de la aviación internacional. Sin embargo, este cambio se debe principalmente al cambio de los factores de emisión de la aviación internacional que opera en México.

Por su parte, las emisiones de óxido nitroso del transporte nacional aumentaron casi 275% en el periodo 1990-2001. Lo anterior está asociado con la introducción de los convertidores catalíticos en los automóviles a gasolina. El autotransporte contribuyó en 2001 con el 97% de las emisiones de óxido nitroso. Las emisiones de óxido nitroso provenientes del transporte internacional aumentaron un 71%, principalmente por el aumento en la actividad del transporte marino.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno del transporte nacional aumentaron un 20% entre 1990 y 2001, debido a que aumentó en todos los sectores a excepción de los ferrocarriles. Las emisiones de óxidos de nitrógeno del transporte aéreo internacional aumentaron un 67%.

De acuerdo con la tabla 4.5 las emisiones de monóxido de carbono del transporte nacional tuvieron una disminución del 47% en el periodo 1990-2001. Si bien, el aumento en el sector de la aviación fue de 52% en este periodo, la disminución de poco más del 48% en el autotransporte, debido a la introducción de convertidores catalíticos en los vehículos a gasolina, dominó la tendencia en estas emisiones. En lo que respecta al transporte internacional, las emisiones de monóxido de carbono disminuyeron un 13%, debido principalmente a la disminución en las emisiones de la aviación internacional, aunque este cambio se debe principalmente al cambio de los factores de emisión de la aviación internacional que opera en México.

Por su parte, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano también disminuyeron un 17% en este periodo para el transporte nacional. Las emisiones provenientes del sector de transporte internacional aumentaron un 77%, este aumento se dio tanto en la aviación internacional como en la navegación internacional.

Las emisiones de dióxido de azufre registraron la mayor disminución en el periodo 1990-2001 para el transporte nacional respecto de los gases de efecto invernadero. Esta disminución del 73% fue resultado de la reducción de las emisiones en casi todos los sectores, excepto en el transporte aéreo, en el que las emisiones aumentaron un 60%. La disminución de las emisiones está asociada con la introducción de gasolinas y diesel con un menor contenido de azufre.

Considerando sólo las emisiones de los gases con efecto invernadero directo, expresadas en Gg equivalentes de CO₂, en las tablas 4.7 y 4.8 puede observarse que el dióxido de carbono contribuye con el 97% de las emisiones totales del sector transporte, en tanto que el óxido nitroso participa con un poco más del 2% y el metano sólo con el 0.5%. El autotransporte contribuye con el 90% de las emisiones de gases con efecto invernadero directo.

6 Conclusiones y Recomendaciones

Las emisiones totales de dióxido de carbono del sector transporte fueron de 106,206 Gg en 2001, lo que representó un aumento del 21% con respecto a 1990. Desde luego, este aumento está relacionado directamente con el aumento en el consumo de energía en este periodo.

Las emisiones de metano en 2001, para este sector, fueron de 26 Gg, lo que representa una disminución del 29% con respecto a 1990.

Por su parte, las emisiones de óxido nitroso fueron de 8 Gg, un 260% superiores a las de 1990. Este aumento está relacionado con la introducción de convertidores catalíticos en los automóviles particulares a partir de 1991.

Para el caso del transporte internacional, las emisiones de dióxido de carbono en 2001 fueron de 1671 Gg, lo que representa un aumento del 64% con respecto a 1990, las correspondientes al metano sufrieron una reducción del 69% y las de óxido nitroso aumentaron un 71%, aunque estas dos últimas emisiones son inferiores a 1 Gg.

Las emisiones de dióxido de carbono del autotransporte representan el 90% de las emisiones del sector transporte. Las emisiones de los vehículos a gasolina representan el 63% del total de las emisiones del sector transporte.

Las emisiones de los demás gases con efecto invernadero también provienen principalmente del autotransporte. Las emisiones de este sector representan desde el 72% del dióxido de azufre, pasando hasta el 85% de las emisiones de los óxidos de nitrógeno y llegando de hasta el 98% para las emisiones de metano, óxido nitroso, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles.

La aviación nacional representa el segundo rubro más importante del sector transporte, en lo referente a sus emisiones de dióxido de carbono, dado que aporta el 6% de las emisiones totales. Además, las emisiones de la aviación mostraron un incremento del 54% en el periodo 1990-2001, este incremento refleja el aumento en el consumo de combustibles en la aviación en el mencionado periodo.

Las emisiones de la navegación son importantes para el caso de los óxidos de nitrógeno, dado que representan el 9% de todas las emisiones de este gas en el sector transporte. El transporte naval también aporta el 24% del total de las emisiones de dióxido de azufre de este sector. Además, el sector naval fue el que mostró el mayor aumento en sus emisiones con un 77% en promedio para todos los contaminantes y sólo sus emisiones de dióxido de azufre disminuyeron.

La reducción más importante en las emisiones del sector transporte fue la de 73% que presentó el dióxido de azufre, que fue ocasionada por la disminución del contenido de azufre en los combustibles utilizados en el transporte.

Las incertidumbres en la estimación de las emisiones para todos los gases, excepto el dióxido de carbono son mayores al 35% (ver apéndice B). La mayor incertidumbre se tiene en el cálculo de las emisiones de óxido nitroso que puede ser mayor al 60%. Sin embargo, dado que en las emisiones de gases con efecto invernadero directo el dióxido de carbono contribuye con más del 97%, la incertidumbre del inventario del sector transporte puede establecerse como del 10% (ver apéndice B), lo que concuerda con el Anexo 1 del Instructivo de reporte del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996.a).

Recomendaciones.

Se debe implantar un sistema de información para el sector transporte diseñado específicamente para contener los datos esenciales para el cálculo de emisiones, ya sea de contaminantes globales o regionales.

Se debe promover el conocimiento del impacto del sector transporte en las emisiones de gases con efecto invernadero entre los expertos del sector gubernamental y del sector privado.

Referencias

Airbus, 2002. A320 Family. www.airbus.com/media/a320_family.asp

Boing, 2002. Technical Characteristics Boing MD-80 Series.
www.boing.com/commercial/md-80/product.html

FCCC, 1998. Tables of inventories of anthropogenic emissions and removals of greenhouse gases for 1990-1995 and projections up to 2020. FCCC/CP/1998/11/Add.2

Gay, C.; Martínez, J.; Ruiz, L.G. 1995. Preliminary National Inventory of Greenhouse Gases: México. Instituto Nacional de Ecología. México.

Instituto Mexicano del Petróleo, 1994. Estudio del impacto ambiental dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México del proyecto de paquete ecológico de gasolinas de PEMEX. IMP. México.

ICAO, 1998 Caribbean/South American Region Traffic Forecasting Group (CAR/SAM-TFG), 3-7 August, Santiago de Chile.

ICAO, 2001. Digest of Statistics No. 497. Fleet-Personnel-Commercial Air Carriers, 2000. Series FP-No. 54

ICAO, 2002. Digest of Statistics No. 504. Fleet-Personnel-Commercial Air Carriers, 2001.

ICAO, 2002. ICAO EngineExhaust Emissions Databank.
www.qinetiq.com/aviation_emissions_databank/index.asp

IPCC/OECD/IEA, 1996.a. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Grenhouse Gas Inventories. Volume 1. Reporting Instructions. JT Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bounduki, DJ Griggs y BA Callendar (Eds.). UK Meteorological Office, Bracknell. UK.

IPCC/OECD/IEA, 1996.b. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Grenhouse Gas Inventories. Volume 2. Workbook. JT Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bounduki, DJ Griggs y BA Callendar (Eds.). UK Meteorological Office, Bracknell. UK.

IPCC/OECD/IEA, 1996.c Revised 1996 IPCC Guidelines for National Grenhouse Gas Inventories. Volume 3. The Reference Manual. JT Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bounduki, DJ Griggs y BA Callendar (Eds.). UK Meteorological Office, Bracknell. UK.

IPCC/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Grenhouse Gas Inventories. Software for Workbook. Instructions Manual. The Reference Manual.

IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit, Kanagawa, Japón

Sajal, S.P., G.A. Bishop, D.H. Stedman, 200. An on-road motor vehicle emissions inventory for Denver: an efficient alternative to modeling. Atmospheric Environment 36, pp 5177-5184.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2000. Información relacionada con el uso de combustibles en el sector transporte. SCT. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2002. La Aviación Mexicana en Cifras. 1989-2001. ISBN 968-803-363-4 SCT. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2002. Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transporte. 2001. ISBN 968-803-361-8 SCT. México.

Secretaría de Energía, 2000. Balance Nacional de Energía 1998. Secretaría de Energía. México.

Secretaría de Energía, 2001. Balance Nacional de Energía 2000. Secretaría de Energía. México.

Secretaría de Energía, 2002. Balance Nacional de Energía 2001. Secretaría de Energía. México.

Secretaría de Energía, 2003. Balance Nacional de Energía 2002. Secretaría de Energía. México.

Singer, B.C. y R.A. Harley, 1996. A fuel-based motor vehicle emission inventory. Journal of Air and Waste Association. Volume 46, June 1996, pp 581-593.

Apéndice A
Tablas estándar de reporte del IPCC

Tabla A.1 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 1990.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NM VOC	SO ₂
3 Transporte	87,712	36	2	604	8,401	807	228
a Aviación Civil	4,199	0	0	14	10	2	0.832
b Autotransporte	79,745	36	2	522	8,340	794	178.00
c Ferrocarriles	1,935	0	0	32	27	5	11.21
d Navegación	1,834	0	0	36	24	5	37.99
Transporte Internacional	1,020	0	0	5	7	2	2
Aviación	926	0	0	3	5	2	0
Navegación	94	0	0	2	1	0	2

Tabla A.2 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 1992.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	94,247	35	4	605	7,563	777	173
a Aviación Civil	4,883	0	0	16	11	3	0.9536
b Autotransporte	86,556	34	4	538	7,513	767	156.00
c Ferrocarriles	1,633	0	0	27	22	4	7.04
d Navegación	1,176	0	0	24	16	3	8.54
Transporte Internacional	1,141	0	0	5	7	2	1
Aviación	1,080	0	0	4	6	2	0
Navegación	60	0	0	1	1	0	0

Tabla A.3 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 1994.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	100,755	32	7	621	6,331	731	115
a Aviación Civil	5,661	0	0	19	13	3	1.124
b Autotransporte	91,411	31	6	534	6,268	718	106.00
c Ferrocarriles	1,859	0	0	31	26	5	4.05
d Navegación	1,825	0	0	38	25	5	3.80
Transporte Internacional	1,406	0	0	8	9	3	1
Aviación	1,254	0	0	4	7	3	0
Navegación	153	0	0	3	2	0	0

Tabla A.4 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 1996.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	97,193	28	8	609	5,092	644	69
a Aviación Civil	5,160	0	0	17	12	3	1
b Autotransporte	88,555	28	7	527	5,032	632	60.00
c Ferrocarriles	1,756	0	0	29	24	5	4.05
d Navegación	1,722	0	0	36	24	5	3.46
Transporte Internacional	1,421	0	0	6	8	3	0
Aviación	1,346	0	0	5	7	3	0
Navegación	75	0	0	2	1	0	0

Tabla A.5 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 1998.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NM VOC	SO ₂
3 Transporte	104,592	24	9	616	3,865	560	51
a Aviación Civil	5,954	0	0	20	14	3	1.16968
b Autotransporte	94,632	24	9	520	3,796	546	44.44
c Ferrocarriles	1,691	0	0	28	23	5	0.53
d Navegación	2,316	0	0	48	32	6	5.28
Transporte Internacional	1,737	0	0	9	10	3	1
Aviación	1,619	0	0	6	8	3	0
Navegación	118	0	0	2	2	0	0

Tabla A.6 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 2000.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	105,811	25	8	742	4,307	650	69
A Aviación Civil	6,336	0	0	23	14	2	1.25
B Autotransporte	93,911	25	8	612	4,217	633	44.45
C Ferrocarriles	1,626	0	0	27	22	4	0.51
D Navegación	3,938	0	0	80	54	11	23.27
Transporte Internacional	1,913	0	0	10	7	1	2
Aviación	1,711	0	0	6	4	1	0
Navegación	201	0	0	4	3	1	1

Tabla A.7 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 2001.

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	106,206	26	8	721	4,422	666	61
A Aviación Civil	6,483	0	0	23	15	3	1.25
B Autotransporte	95,081	26	8	609	4,344	650	44.33
C Ferrocarriles	1,501	0	0	25	21	4	0.47
D Navegación	3,141	0	0	64	43	9	14.91
Transporte Internacional	1,671	0	0	9	6	4	1
Aviación	1,511	0	0	5	3	3	0
Navegación	160	0	0	3	2	0	1

Tabla A.8 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 2000.(Nivel 1, Tier 1)

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO (Tier 1)							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	110,291	23	1	1,059	8,805	1,658	69
A Aviación Civil	6,484	0	0	27	19	5	1.246
B Autotransporte	98,243	23	1	924	8,710	1,638	44.45
C Ferrocarriles	1,626	0	0	27	22	4	0.51
D Navegación	3,938	0	0	80	54	11	23.27
Transporte Internacional	1,934	0	0	11	5	2	2
Aviación	1,733	0	0	7	2	1	0
Navegación	201	0	0	4	3	1	1

Tabla A.9 Emisiones de gases con efecto invernadero del sector transporte en 2001 (Nivel 1, Tier 1).

REPORTE SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GASES EFECTO INVERNADERO (Tier 1)							
(Gg)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
3 Transporte	109,436	23	1	1,038	8,933	1,682	61
A Aviación Civil	6,542	0	0	28	17	5	1.25
B Autotransporte	98,251	23	1	921	8,853	1,664	44.33
C Ferrocarriles	1,501	0	0	25	21	4	0.47
D Navegación	3,141	0	0	64	43	9	14.91
Transporte Internacional	1,673	0	0	10	4	2	1
Aviación	1,512	0	0	6	2	1	0
Navegación	160	0	0	3	2	0	1

Apéndice B

Notas sobre Incertidumbre

En la tabla B-1 se muestra la estimación de la incertidumbre de las emisiones de los diferentes gases que son emitidos por el autotransporte. Debido a que en este caso el cálculo se basó en factores de emisión referidos al consumo de combustible, la incertidumbre en el factor de actividad se reduce significativamente y se le concede un valor de 3%, proveniente principalmente de las cifras reportadas en las memorias de labores de PEMEX y el Sector Energía, así como las diferencias en las propiedades de los combustibles. La incertidumbre en los factores de emisión se pudo estimar a partir de las mediciones en diferentes flotas de vehículos en el país, considerando dos fuentes de datos de la ZMVM y otras dos correspondientes a regiones carentes de programas de verificación de emisiones. La incertidumbre entre las mediciones de la ZMVM son cercanas a 13% para CO e Hidrocarburos, en tanto que para todo el país son casi del doble. Los NOx se mantienen en niveles de 23% en todos los casos.). La incertidumbre total se calculó con la fórmula disponible en las Instrucciones de Reporte del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996.a):

$$U_T = \sqrt{U_E^2 + U_A^2}$$

Ecuación B1

Tabla B.1 Incertidumbres estimadas para el sector autotransporte.

Contaminante	Incertidumbre en el dato de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre total
	U _A	U _E	U _T
óxidos de nitrógeno	3	23	23
metano	3	35	35
compuestos orgánicos volátiles sin metano	3	35	35
monóxido de carbono	3	29	29
dióxido de azufre	3	7	8
dióxido de carbono	3	9	9
óxido nitroso	20	60	63

En el caso del óxido nitroso no se cuenta con mediciones de las emisiones de este gas para una flota representativa de México. Se considera que la incertidumbre en el dato de actividad para el autotransporte es del 3%. La incertidumbre de los factores de emisión para este gas es muy alta como lo explica el manual de referencia del IPCC (IPCC/OECD/IEA, 1996.c). Seguramente es mayor a la incertidumbre del 35% estimada para los factores de emisión de los compuestos orgánicos volátiles sin metano. Si se considera una incertidumbre en el factor de emisión de 60%, la incertidumbre del óxido nitroso es del 63% como se reporta en la tabla anterior.

La incertidumbre para el sector autotransporte se puede estimar para los gases con efecto invernadero directo (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) si se toman las emisiones equivalentes de CO₂ y las incertidumbres de la tabla anterior. De acuerdo al Manual de Buenas Practicas y Manejo de Incertidumbre (IPCC, 2000), la formula para estimar la incertidumbre de una cantidad que se obtiene sumando es:

$$U_T = \left(\sqrt{(U_1 * x_1)^2 + (U_2 * x_2)^2 + (U_3 * x_3)^2} \right) / (x_1 + x_2 + x_3) \quad \text{Ecuación B2}$$

La incertidumbre que resulta para el sector autotransporte es del 9.3% para los Gg equivalentes de CO₂. Esta incertidumbre es sólo sensible a la incertidumbre de las emisiones del dióxido de carbono, sin mostrar sensibilidad ni a la incertidumbre de las emisiones de metano ni a la incertidumbre de las emisiones de óxido nitroso.

Dado que el sector autotransporte representa el 90% de la emisión de gases con efecto directo, se tomaron como incertidumbres del metano y del óxido nitroso las reportadas en la tabla B1 para todo el sector transporte. La incertidumbre del sector transporte también es insensible a las incertidumbres de las emisiones de metano, poco sensible a las emisiones de óxido nitroso y sumamente sensible a las incertidumbres del dióxido de carbono, de acuerdo a la ecuación B2. La incertidumbre total del sector transporte, calculada con la ecuación B2 y las incertidumbres de la tabla B1, resulta del 9.2% y concuerda con la estimación del IPCC para el sector energía (10%) reportadas en el Anexo 1, del volumen Instrucciones de Reporte. IPCC, 1996a.

Apéndice C

Memoria de cálculo para utilizar el software IPCC en el sector transporte.

Tier 1. CO₂ por combustión del sector transporte nacional por aproximación sectorial.

- Consumo de energía nacional en PJ por tipo de combustible y por modo de transporte. A los consumos del modo aéreo del cuadro 29 del Balance Nacional de Energía 1998 se le restaron los consumos para vuelos internacionales según información de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y se registraron en “Bunkeres”. A los consumos del modo marítimo se le restaron los consumos registrados como internacionales de la información de la Secretaría de Energía y se registraron como “Bunkeres”.
- Factor de conversión de PJ a TJ.
- Contenido de carbón de la tabla 1-4 del manual de referencia IPCC. El contenido de carbón del gas licuado se estimó con base en su contenido de propano y butano.
- Fracción del carbono oxidado de la tabla 1-6 del manual de referencia.
- La hoja de cálculo da las emisiones de CO₂.

Tier 1. CO₂ por combustión del sector transporte internacional por aproximación sectorial.

- Consumo de energía internacional en PJ para modo aéreo y marítimo por tipo de combustible.
- Factor de conversión de PJ a TJ.
- Contenido de carbón de la tabla 1-4 del manual de referencia del IPCC.
- Fracción del carbón oxidado de la tabla 1-6 del manual de referencia.
- La hoja de cálculo da las emisiones de CO₂.

Tier 1. Gases diferentes a CO₂ y SO₂ por combustión del sector transporte por aproximación sectorial.

- Consumo de energía nacional en TJ por tipo de combustible y por modo de transporte. Se debe reportar el consumo de gas licuado y gasolina sumados en la parte correspondiente a gasolina.
- Factores de emisión de las tablas 1-7 a 1-11 por tipo de gas.
- La hoja de cálculo da las emisiones de cada gas.

Tier 1. SO₂ por combustión del sector transporte nacional por aproximación sectorial.

- Desagregar el consumo de combustible por su contenido de azufre de acuerdo a la información proporcionada por la Secretaría de Energía.
- Calcular el factor de emisión de SO₂ de acuerdo al procedimiento 1.4.2.6 del manual de referencia del IPCC (se puede utilizar la hoja de cálculo del IPCC).
- Calcular las emisiones de SO₂ por modo de transporte en hoja de cálculo diferente a la del IPCC..
- Reportar las emisiones en la tabla TS2 del Overview, líneas 8, 9, 10 y 11 en Gg.

Tier 1. SO₂ por combustión del sector transporte internacional.

- Desagregar el consumo de combustible de acuerdo a la información de la Secretaría de Energía por su contenido de azufre.
- Calcular el factor de emisión de SO₂ de acuerdo al procedimiento 1.4.2.6 del manual de referencia del IPCC (se puede utilizar la hoja de cálculo del IPCC).
- Calcular las emisiones de SO₂ por modo de transporte.
- Introducir el consumo de combustible en TJ.
- Para el caso de transporte marítimo modificar el contenido de azufre promedio (Columna B) hasta que las emisiones se igualen a las calculadas (Columna G).

Tier 2. Aviación nacional.

- Estimar ciclos LTO dividiendo entre 2 la información proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del total de las operaciones aéreas nacionales.
- Introducir el consumo total en kilotoneladas.
- Introducir el consumo nacional en kilotoneladas.
- Introducir el número de ciclos LTO para la aviación nacional.
- Introducir el consumo de combustible por ciclo para la flota promedio nacional (Tabla 1-52).
- Introducir factores de emisión para aviación nacional de la tabla 1-52.
- Corregir el factor de emisión por el contenido de azufre del queroseno Mexicano (0.03).

Tier 2. Aviación internacional.

- Estimar ciclos LTO dividiendo entre 2 la información proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del total de las operaciones aéreas internacionales.
- Introducir el número de ciclos LTO para la aviación internacional.
- Introducir el consumo de combustible por ciclo para la flota promedio internacional (Tabla 1-52).
- Introducir factores de emisión para aviación internacional de la tabla 1-52.
- Corregir el factor de emisión por el contenido de azufre del queroseno Mexicano (0.03).

Tier 2 para el sector carretero y gases de efecto invernadero diferentes al dióxido de azufre.

Este cálculo se hace en una hoja diferente a la hoja de cálculo del IPCC.

- Dato: el consumo de gasolina.
- Dato: Rendimiento de combustible de los diferentes tipos de vehículos..
- Dato: Distribución en porcentaje del recorrido de los vehículos a gasolina. Se supone que la distribución del recorrido es similar a la de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México tanto para los vehículos con control como para los vehículos sin control.
- Factores de emisión base combustible para los diferentes gases en los vehículos con control y sin control.
- Se calculan las emisiones.